PROCEEDING BOOK



EGE
13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 13- 15, 2025
Izmir

ISBN : 978-625-5962-78-2
Academy Global Publishing House

EGE 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JUNE 13 - 15, 2025
IZMIR

Edited By
PROF. DR. HÜLYA ÇİÇEK

Issued: *27.06.2025*
ISBN: 978-625-5962-78-2

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 133 papers have been presented by Turkish participants and 188 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 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
JUNE 13 - 15, 2025
IZMIR

ORGANIIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey - Azerbayjan – South Africa – Jordan- Chile- Thailand- Iran- Indonesia. Egypt- Austria- - Sweden- Malaysia- Slovakia- Poland- South Korea- Canada – Romania- China- Finland- Ukraine- Russia – Ghana- Czech Republic- USA- Japan- India- Australia- Kazakhstan- Lebanon- Sri Lanka- Croatia- Kuwait- Colombia- Brazil -Portugal- Oman- Switzerland- - Philippines - Greece- Bangladesh – Armenia- Latvia – Albania

-

PRESENTATION
Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD

HEAD OF CONFERENCE : Prof. Dr. Hülya Çiçek

Prof. Dr. Ali Bilgili
Prof. Dr. Naile Bilgili
Prof. Dr. Başak Hanedan
Prof. Dr. Hajar Huseynova
Prof. Dr. Dwi Sulisworo
Prof. Zain Musa
Prof. Dr. Sameer Jain
Prof Yakup Babayev
Prof. Dr. Suyatno
Prof. Dr. Hasan Akan
Prof. Dr. Al-Rashiff H. Mastul -
Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy
Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli
Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR
Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak
Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova
Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti
Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran
Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın
Assoc. Prof. Dody Hartanto
Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn
Assoc. Prof. Nazile Abdullazade
Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi
Assoc Prof. Dr. Feran Aşur
Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti
Assoc. Prof. Ivaylo Staykov
Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari
Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş
Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova
Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık
Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz
Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev
Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları
Assist. Prof. Ihwan Ghazali
Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu
Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade
Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan
Assist. Prof. Dr. Songül ATAK
Lecturer Mehmet Nuri Ödük
Dr. Fatih İ. Kurşunmaden
Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou
Dr. Dadash Mehravari
Dr. Gültekin Gürçay
Dr. Aynurə Əliyeva
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. Hasan Akan – Turkiye
Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - 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. Elif Akpınar Külekçi - 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 - Ozbekstan
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
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. Dadash Mehravari – Iran
Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
Dr. Sonali Malhotra – India
Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran

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 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JUNE 13- 15, 2025
IZMIR

NO : **AC- 13A - 2025. 438u– 3051**
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi 27/06/2025

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **Ege 13. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi** 13-15 Haziran 2025 tarihlerinde Ege'de 44 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 321 bildirinin 133'ü Türkiye'den, 188'i ise farklı 43 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

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ARTWorld 6TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
June 13 - 15, 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 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Dr. Öğr. Üyesi Vildan Bayram**	1	UZUN YOL ŞOFÖRLERİNİN PERFORMANSINI ETKİLEYEN DEĞİŞKENLER	Uzman Sevim Nur ŞİMŞEK Doç.Dr.Cemile ÇETİN
		2	PANDEMİ ÖNCESİNDE VE SONRASINDA TÜRKİYE DIŞ TİCARETİNDE MARMARA BÖLGESİ	Yüksek Lisan Öğrencisi Aslı Cansu Akdora Yüksek Lisans Öğrencisi Emircan Dalkılıç
		3	SHORT-TERM INSURANCE BRANCHES WITHIN THE SCOPE OF SOCIAL INSURANCES	PhD. Serkan DEMİRTAŞ
		4	THE EFFECTS OF DIGITAL TRANSFORMATION ON PRODUCTIVITY AND PERSON-JOB FIT	Master's Student Meltem SEVİNÇ Ass. Prof. Dr. Ahmet AYDIN
		5	KISA VİDEO İÇERİK ÖZELLİKLERİNİN ALGILANAN MÜŞTERİ DEĞERİ, MÜŞTERİ KATILIMI VE MÜŞTERİYİ ELDE TUTMAYA ETKİSİ	Doç. Dr. Nurettin Ozan Bakır Arş. Gör. Deniz Serbest
		6	CONCEPTUAL REFLECTIONS ON THE EVOLUTION OF OWNERSHIP IN THE DIGITAL AGE: A COMPARATIVE INQUIRY INTO PHYSICAL AND DIGITAL POSSESSION	Batuhan Sarıgül Prof.Dr. Remzi ALTUNIŞIK
		7	Yapay Zeka Uygulamaları Kapsamında Etik Sorunların İncelenmesi	Dr. Öğr. Üyesi Vildan Bayram
		8	SOSYAL GÜVENLİKTE BİRLİKTE İSTİHDAM	Dr. Eray Karagöz

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Sabiha Gizem ENGİN**	1	HER MAÇIN HİKÂYESİ AYRI: KADIN HAKEMLERİN VAROLUŞ SANCISI	Sabiha Gizem ENGİN
		2	ANTİK OLİMPİYAT OYUNLARI KURULUŞUNA İLİŞKİN EFSANELER ÜZERİNE DÜŞÜNCELER	Erol Doğan Osman İmamoğlu
		3	GÜNÜMÜZ OLİMPİYAT DİSİPLİNLERİNDE VE SPORLARDA HİNT ORİJİNLİ SPORLAR ÜZERİNE DÜŞÜNCELER	Erol Doğan Osman İmamoğlu
		4	U17 İLE U19 FUTBOLCULARININ BİLİŞSEL PERFORMANS İLE REAKSİYON SÜRESİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Oğuzhan ŞİMŞEK Prof. Dr. Murat ELİÖZ
		5	EXAMINATION OF INTERNET ADDICTION LEVELS OF STUDENTS STUDYING AT THE FACULTY OF SPORT SCIENCES IN TERMS OF THE CLASS THEY STUDY	Yüksek Lisans Öğrencisi Uğur OSANMAZ Prof. Dr. Fikret ALINCAK
		6	EXAMINATION OF PHYSICAL EDUCATION TEACHER CANDIDATES' ATTITUDES TOWARDS LEARNING IN TERMS OF DIFFERENT VARIABLES	Yüksek Lisans Öğrencisi Uğur OSANMAZ Prof. Dr. Fikret ALINCAK
		7	EXAMINATION OF PHYSICAL EDUCATION TEACHERS' EPISTEMOLOGICAL BELIEFS IN TERMS OF DIFFERENT VARIABLES	Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet KIZILBOĞA Prof. Dr. Fikret ALINCAK
		8	EVALUATION OF SCHOOL PRINCIPALS' VIEWS ON THE CONCEPT OF SCHOOL MANAGEMENT	Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet KIZILBOĞA Prof. Dr. Fikret ALINCAK

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Dr. Sinem ALPASLAN**	1	OKUL SAĞLIK EĞİTİMLERİNE YÖNELİK İLKOKUL 3. SINIF ÖĞRENCİ GÖRÜŞLERİ	Dr. Hacer EFE Prof. Dr. Ünsal UMDU TOPSAKAL
		2	OKUL SAĞLIK EĞİTİMLERİ ÜZERİNE FEN BİLİMLERİ ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ	Dr. Hacer EFE Prof. Dr. Ünsal UMDU TOPSAKAL
		3	Social Communication Skills of Preschool Children with Divorced Parents	Yusuf PARLAK, Sena Nur EKİCİ, Prof. Dr. Ayşegül KESKİNKILIÇ,
		4	Perception of Death and Grief in Childhood	Sena Nur EKİCİ, Yusuf PARLAK, Prof. Dr. Ayşegül KESKİNKILIÇ,
		5	Evaluation of Artificial Intelligence Literacy Among Social Studies Teachers	Yüksek Lisans Öğrencisi, Emre CANİK Prof. Dr. Meryem HAYIR KANAT
		6	TÜBİTAK ULUSAL BİLİM OLİMPİYATLARI MATEMATİK SORULARININ İNCELENMESİ	Büşra CEBE Bahar UYAR DÜLDÜL
		7	BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR DERSİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLARIN İNCELENMESİ	Doç. Dr. Mecit ASLAN Dr. Öğr. Üyesi Naciye AYNAS Öğrt. Mehmet Mert ORBAÇ
		8	OKULLARDA UYGULANAN ÇEDES (ÇEVREME DUYARLIYIM DEĞERLERİME SAHİP ÇIKIYORUM) PROJESİNE İLİŞKİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ	Doç. Dr. Mecit ASLAN Dr. Öğr. Üyesi Naciye AYNAS Öğrt. Adem YOLCU
		9	THE IMPACT OF THE DRAWING-GUESSING GAME GARTIC.IO ON STUDENTS' CREATIVITY AND PRODUCT CREATION TIMES IN THE FIELD OF VISUAL ARTS	Dr. Sinem ALPASLAN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Araş. Gör. Dr. Eren YILDIZ**	1	Disputes Arising from Social Assistance Received by Turkish Citizens from Foreign States in the Context of the Law Applicable to Unjust Enrichment	Dr. Halil Alperen IŞIK
		2	Precautionary Attachment as a Way to Ensure the Enforcement of Arbitral Awards Rendered Under the Turkish Code on International Arbitration (No. 4886) and the Effect of the Action for Annulment on Precautionary Attachment	Dr. Halil Alperen IŞIK
		3	AVRUPA İNSAN HAKLARI MAHKEMESİ'NİN DİLEK GENÇ v. TÜRKİYE KARARININ VERGİ YARGILAMASINA OLASI ETKİSİ ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Araş. Gör. Dr. Mevlüt UZUNÖNER
		4	YARGITAY 9. HUKUK DAİRESİNİN 10.03.2025 TARİHLİ KARARI IŞIĞINDA İŞVERENİN YILLIK ÜCRETLİ İZİN SÜRESİNE AİT ÜCRETİ İZİN BAŞLAMADAN ÖNCE PEŞİN VEYA AVANS OLARAK ÖDEME YÜKÜMLÜLÜĞÜ	Araş. Gör. Dr. Eren YILDIZ
		5	YEŞİLKAYA SAVCISI BAŞLIKLI ROMAN ÖZELİNDE EDEBİYAT- HUKUK İLİŞKİSİ	Ulaş Göktuğ DURMUŞ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Banu YÜCEL**	1	AN ALTERNATIVE MODEL TO INTEGRATE BEES INTO OUR SOCIAL LIFE: URBAN BEEKEEPING	Dr. Ekin VAROL Prof. Dr. Banu YÜCEL
		2	NATURE'S SUPERFOOD BEE BREAD (PERGA) AND ITS UNIQUE PROPERTIES	Dr. Ekin VAROL Prof. Dr. Banu YÜCEL
		3	NEW APPROACHES ON VALUE-ADDED BEE PRODUCTS; WHOLE BEE (PODMORE), BEE DRONE LARVAE (APILARNIL) AND BEE HIVE AIR APPLICATIONS	Prof.Dr. Banu YÜCEL Dr. Ekin VAROL
		4	UNIQUE IMPORTANCE IN THE WORLD HONEY TRADE; TURKISH PINE HONEYDEW HONEY	Prof.Dr. Banu YÜCEL Dr. Ekin VAROL
		5	VAN İLİNDEKİ HAYVANCILIK DESTEKLERİNİN TÜRKİYE İÇERİSİNDEKİ DURUMUNUN İNCELENMESİ	Dilek Taşcan Doç. Dr. Ferhat KÜP
		6	ŞANLIURFA İLİ CEYLANPINAR İLÇESİ VE MARDİN İLİ KIZILTEPE İLÇESİ BÖLGELERİNDE PAMUK EKİM DURUMU VE PAMUK HASAT MEKANİZASYON SORUNLARI	Azize öner Prof. Dr. Ramazan SAĞLAM
		7	SERALARDA YÖNLENDİRMENİN İKLİMLENDİRME İÇİN ENERJİ GEREKSİMİNE ETKİSİ	Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
		8	ENERJİ AÇISINDAN SÜRDÜRÜLEBİLİR SERACILIK İÇİN FOTOVOLTAİK (PV) GÜNEŞ ENERJİSİ TEKNOLOJİSİNDEN YARARLANMAK	Hasan Kaan KÜÇÜKERDEM Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Mehmet BUĞDAYCI**	1	ÇİNKO OKSİT PARÇACIKLARI İLE SODYUM BOR HİDRÜRDEN HİDROJEN ÜRETİMİ	Şevval KARAÇUKA Doç. Dr., LEVENT SEMİZ
		2	YANMA SENTEZİ İLE BORÜR SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ	Doç. Dr. Mehmet BUĞDAYCI Doç.Dr. Özlem TUNA Prof.Dr. Pelin Demircivi
		3	KARBOTERMİK YÖNTEMLE İLE BORÜR SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ	Doç. Dr. Mehmet BUĞDAYCI Doç.Dr. Özlem TUNA Araş.Gör.Dr. Nergiz Zeynep KANMAZ Keleşoğlu
		4	MORFOLİN BİRİMİ İÇEREN YENİ BİR PİRİMİDİN TÜREVİNİN SENTEZİ VE IN SİLİKO ÇALIŞMALAR İLE İLAÇ OLABİLME POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ	Süleyman GÜDER Dr. Öğr. Üyesi Gülbin KURTAY Doç. Dr. Tuğba GÜNGÖR
		5	Elektrospinning Yöntemi Kullanarak Elde Edilen Nanofiberler Kaplamaların AM50 Alaşımının Korozyon Davranışına Etkisi	H. Deniz ADA Merve Dağcı Tekin
		6	Elektrosipinning Yöntemi Kullanılarak Esansiyel Yağların Enkapsülasyonu	Merve Dağcı Tekin H. Deniz ADA

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Kelime ERDAL**	1	NATIONAL FIGHT and HISTORICAL THEMES IN AYŞE KULİN'S "FAREWELL"	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		2	J. PAUL SARTRE ve SÖMÜRGECİLİĞE BAKIŞI	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		3	A STUDY ON THE LANGUAGE OF CHILDREN'S BOOKS	Prof. Dr. Kelime ERDAL
		4	IDENTITY AND BELONGING IN LITERARY TEXTS	Prof. Dr. Kelime ERDAL
		5	THE UNDERSTANDİNG OF POWER IN ÂŞIK PAŞA'S GARİB-NÂME	Mustafa KILIÇ Doç. Dr. Kenan BOZKURT
		6	A LITERARY, SCIENTIFIC, AND POLITICAL PERIODICAL: THE STRUCTURE OF GENRES AND THEMES IN DEMET MAGAZINE	Dr. Öğr. Üyesi Demet KOÇYİĞİT
		7	THE SANCTIFICATION OF SPACE IN FOLK BELIEFS: THE CASE OF THE MENDERES BASIN	Dr. Bircan KAYACAN
		8	CONTRONYMY IN HISTORICAL TURKIC: THE CASE OF ERTE ~ İRTE	Arş. Gör. Dr. Ayşe Beril KARA

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Hakan Arıkan**	1	BİLGİ KAYNAĞI OLARAK SANAT: ARİSTOTELES	Doç. Dr. Hakan Arıkan
		2	THOMAS AQUİNAS'IN SANAT VE ESTETİK ANLAYIŞI	Doç. Dr. Hakan Arıkan
		3	The Value Of Sophıstıc In Logıc	Doç. Dr. Halil İMAMOĞLUGİL
		4	THE FUNCTİON OF MODELS İN SCİENCE FROM THE PERSPECTİVE OF PHİLOSOPHY OF SCİENCE	Doktora Öğrencisi Muhammed Abdi Çelik
		5	BERTRAND RUSSELL'IN TANIMA YOLUYLA BİLGİ GÖRÜŞÜNÜN DENEYİMCİLİĞİN PROBLEMLERİ BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	Arş. Gör. Dr. Nusret Erdi ELMACI
		6	Alimden Aydına Epistemik Süreklilik: 'Hakikat Rejimi' Bağlamında Yorumun İktidarı	Arş. Gör. Dr. Melike Güngör

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Alper Talha KARAKÖSE**	1	Ethics in Psychological Counseling with Preschool Children	İlim BÜKÜLMEZ BOZKURT Arzu ERALTUĞ OYMACI Fatma Ebru İKİZ
		2	ETHİCS İN CULTURALLY COMPETENT PSYCHOLOGİCAL COUNSELİNG	Nilay ULUÇ Gökçe BİNGÖLTEKİN Fatma Ebru İKİZ
		3	ÇEVRİMİÇİ PSİKOLOJİK DANIŞMANLIK UYGULAMALARINDA ETİK İLKELER	Gizem DÖNMEZ Mizgin YARBATAK Prof. Dr. Fatma Ebru İKİZ
		4	THE MEDIATING ROLE OF POSITIVE HUMOR STYLES IN THE RELATIONSHIP BETWEEN EMOTIONAL INTELLIGENCE AND ROMANTİC RELATIONSHIP SATISFACTION	Betül YANIK Sümeyye İrem SOYLU Şevval OSMANOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Filiz KUMOVA Prof. Dr. Itır Tarı CÖMERT
		5	THE MEDIATING ROLE OF SELF-DIFFERENTIATION IN THE RELATIONSHIP BETWEEN GENERAL PARENTIFICATION AND VULNERABLE NARCISSISM	Arzucan DEMİR Fatma Suphiye Nur BALTA Dr. Öğr. Üyesi Filiz KUMOVA
		6	Anneden Algılanan Narsiszm ile Sosyal Kaygı Belirtileri İlişkisinde Ayrışma Bireyleşme Düzeyinin Aracı Rolü	Berfin Yazıcı
		7	KORUYUCU AİLELERİN YAŞAM DENEYİMLERİ: RİSK VE KORUYUCU FAKTÖRLERİN NİTEL BİR İNCELENMESİ	Alper Talha KARAKÖSE
		8	ÖZ-BELİRLEME KURAMI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	Güler Uyar Doç. Dr. Gülay Demir Dr. Öğr. Üyesi Sezen Güleç

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Aisha Nzimande**	1	DECONSTRUCTING THE COGNITIVE MECHANISMS OF PROBLEM-SOLVING	Dr. Samira El-Masry
		2	AUTOMATED VIDEO CONTENT CREATION USING SCREEN RECORDING TECHNOLOGY	Dr. Parisa Imani
		3	ONTOLOGICAL FRAMEWORKS FOR INTELLIGENT LEARNING SYSTEMS IN MUSIC EDUCATION	Prof. Dr. Dimitrios Papadopoulos Dr. Georgios Christou
		4	ENHANCING CIVIL ENGINEERING LABORATORY EDUCATION THROUGH FLIPPED CLASSROOM MODELS	Ricardo Torres Sofia Jimenez Arturo Mendoza
		5	SEQUENTIAL LEARNING IN AUTONOMOUS AGENTS BASED ON CONSTRUCTIVIST THEORY	Javier Ramirez Isabella Vargas
		6	REVOLUTIONIZING ASSEMBLY LINE OPERATIONS WITH DEEP LEARNING TECHNOLOGIES	Assoc. Prof. Dr. Aisha Nzimande
		7	EVALUATING THE ECONOMIC IMPACT OF HUMANITIES AND EDUCATION DEGREES IN PUBLIC UNIVERSITIES OF OSUN STATE, NIGERIA	Babatunde Adebayo

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Guadalupe Martínez**	1	ENHANCING INDUSTRY 4.0 WITH DEEP LEARNING: OPTIMIZING ASSEMBLY LINE PRODUCT IDENTIFICATION	Oluwaseun Adeyemi
		2	ANALYZING THE ECONOMIC RETURNS OF HUMANITIES AND EDUCATION PROGRAMS IN PUBLIC UNIVERSITIES OF OSUN STATE	Assoc. Prof. Dr. Guadalupe Martínez
		3	EXPLORING STUDENT EXPERIENCES WITH DIGITAL LEARNING TOOLS IN HIGHER EDUCATION	Dr. Emily Johansson
		4	QUANTITATIVE STUDY OF ANXIETY PREVALENCE AMONG DYSLEXIC UNIVERSITY STUDENTS	Lena Schmidt Annika Fischer
		5	UNPACKING UNIVERSITY CURRICULUM POLICYMAKING IN CHILE: CASE STUDY OF EDUCATIONAL REFORMS	Camila Rojas Diego Valenzuela
		6	FOSTERING COLLABORATIVE CULTURES AMONG MIDDLE SCHOOL TEACHERS: A CASE STUDY	Vasiliki Papadopoulou Panagiotis Markakis Vagelis Karakolis John Psarras
		7	THE ROLE OF CONVERSATIONAL AGENTS IN SUPPORTING STUDENTS IN HIGHER EDUCATION	Assis. Prof. Dr. Christos Vlachos
		8		

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assis. Prof. Dr. Omar El-Sayed**	1	MODELS OF COPYRIGHT SYSTEMS	Dr. Ivan Petrov
		2	CONTEMPORARY ISSUES IN RUSSIAN SPORTS LEGISLATION	Dr. Mikhail Volkov
		3	MODERNIZING THE EUROPEAN COMPETITION NETWORK: CHALLENGES AND PROSPECTS	Dr. Katarzyna Nowak
		4	WOMEN'S RIGHTS VERSUS CULTURAL AUTONOMY: CHALLENGES IN CULTURAL ACCOMMODATION	Assis. Prof. Dr. Amina Rahman
		5	SOCIAL MOVEMENTS AND THE SPREAD OF TACTICS: NETWORKS IN THE ANTI-GLOBALIZATION MOVEMENT	Assoc. Prof. Dr. Yuki Nakamura
		6	EMPLOYMENT DISCRIMINATION IN CIVIL SERVICE RECRUITMENT: A CHINESE PERSPECTIVE	Li Wei Jia Ming
		7	DEPENDENCY THEORY AND US-MIDDLE EAST RELATIONS: CASE STUDIES OF IRAN, SAUDI ARABIA, AND EGYPT	Assis. Prof. Dr. Omar El-Sayed
		8	NATIONAL TEAM SELECTION CRITERIA: THEORY AND PRACTICE IN RUSSIA	Alexei Ivanov

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Nguyen Thi Lan**	1	ANALYZING THE ARCHITECTURAL INFLUENCE OF THE GREAT STUPA AT BOROBUDUR TEMPLE	Agus Wijaya
		2	A COMPARATIVE ANALYSIS OF TRADITIONAL DANCE COSTUMES IN SOUTHEAST ASIAN FESTIVALS	Assoc. Prof. Dr. Nguyen Thi Lan
		3	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF LOAN GUARANTEE PROGRAMS IN SUPPORTING SMALL BUSINESSES	Dimitrios Papadopoulos Nikolaos Katsaros
		4	UTILIZING BAMBOO RESOURCES FOR SUSTAINABLE DESIGN APPLICATIONS	Dr. Ramon Santos
		5	ASSESSING THE CHARACTERISTICS OF ACTIVATED CARBON FROM COCONUT SHELLS FOR ENVIRONMENTAL APPLICATIONS	Mohammad Daud
		6	INCORPORATING TRADITIONAL BATIK MOTIFS INTO MODERN TEXTILE DESIGN	Assis. Prof. Dr. Dewi Ayu Lestari
		7	DEVELOPING ENGLISH LANGUAGE MATERIALS TO PROMOTE SUSTAINABLE TOURISM IN AYUTTHAYA HISTORICAL PARK	Siriporn Wongsa

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Rana Hassan**	1	INVESTIGATING THE IMPACT OF ECONOMIC FACTORS ON DOMESTIC INVESTMENT STRATEGIES	Dr. Fatima Zahraoui
		2	ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF RURAL WATER PROJECTS THROUGH WOMEN'S INVOLVEMENT IN RURAL YEMEN	Aisha Ali Al-Haddad
		3	A CRITICAL ANALYSIS OF ARMED GROUPS AND INTRA-STATE CONFLICT DYNAMICS IN EGYPT	Assis. Prof. Dr. Rana Hassan
		4	NAVIGATING EMPLOYEE DYSFUNCTION: THE ROLE OF LEADERSHIP IN WORKPLACE MANAGEMENT	Omar Khaled Laila Ibrahim
		5	FORENSIC ACCOUNTING: A PARADIGM SHIFT IN FINANCIAL STATEMENT FRAUD DETECTION	Oluwafemi Adebayo
		6	FACTORS INFLUENCING MOBILE BANKING ADOPTION AND CUSTOMER PERCEPTIONS IN SRI LANKA	Dr. Gayathri Silva
		7	PERCEIVED VALUE OF THE CZECH REPUBLIC ARMY SERVICE FOR PROFESSIONAL SOLDIERS	Assoc. Prof. Barbora Novotná
			BRANDING STRATEGIES: UNIQUE IMPLEMENTATION FEATURES	Nino Kapanadze
		8	USING MARKET SEGMENTATION AND CONJOINT ANALYSIS IN PRODUCT DESIGN	Ali Al-Jabri Sara Mansour

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Chalermpol Tansai**	1	ZHOU ENLAI'S INFLUENCE ON CHINA'S FOREIGN POLICY	Nazira Bektayeva
		2	TRACE ANALYSIS ON BALLISTIC IMPACT AFTER SHOOTING	Levture Narongkul
		3	THE EVOLUTION OF ONLINE LESSONS IN AN INTEGRATED EDUCATIONAL MODEL	Prof. Dr. Chalermpol Tansai
		4	DISCLOSURE IN THE SOCIAL DOMAIN TO MITIGATE CONFLICTS BETWEEN COMMUNITY AND STATE: THE CASE OF MAHAKAN FORTRESS, BANGKOK	Assis. Prof. Saowapa Phaitayawat
		5	THE POTENTIAL OF DIGITAL TOOLS IN JUNIOR SCHOOL ART LESSONS TO ENHANCE CREATIVE SKILLS USING TAMAZIGHT FONTS	Aber Salem Aboalgasm Rupert Ward
		6	THE DESIGN OF CHILDREN'S PICTURE BOOKS BASED ON AMPHAWA FIREFLIES TALES	Dr. Marut Pichetvit

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Fatima Al-Harbi**	1	WEB CONTENT ANALYSIS OF TOP EUROPEAN TOURIST DESTINATIONS FROM THE PERSPECTIVE OF CHINESE TRAVELERS	Dr. Li Wei Dr. Zhang Ming
		2	INCLUSIVE DISABILITY MANAGEMENT PRACTICES: A CASE STUDY OF THE FINANCIAL SECTOR IN THE UNITED ARAB EMIRATES	Assoc. Prof. Dr. Fatima Al-Harbi
		3	THE EVOLUTION OF ITALIC HANDWRITING IN THE DIGITAL AGE	Emily Johnson
		4	PARENTAL INVOLVEMENT AND ITS EFFECTS ON EARLY INTERVENTION FOR CHILDREN WITH DISABILITIES IN TAIWAN	Dr. Wei-Ling Chen
		5	YOUTH CONCERNS AND THEIR IMPACT ON VOTER BEHAVIOR: A STUDY AMONG UNIVERSITY STUDENTS IN SINGAPORE	Dr. Arjun Kumar
		6	ENGLISH USAGE IN JAPANESE TOURISM BROCHURES: A LINGUISTIC ANALYSIS	Dr. Anongrat Chaiyaporn
		7	UNDERGRADUATE LIFESTYLES AND SUSTAINABILITY: A STUDY BASED ON THE SUFFICIENCY ECONOMY PHILOSOPHY IN INDONESIAN UNIVERSITIES	PhD Candidate Rizky Pratama
			METACOGNITIVE READING STRATEGIES AMONG LIBYAN POSTGRADUATE EFL STUDENTS: AN ECLECTIC THEORY APPROACH	Dr. Amal Al-Mansouri Dr. Hassan Al-Faraj
		8	CULTURAL SIGNIFICANCE AND MARKET POTENTIAL OF COMMUNITY SOUVENIR PRODUCTS IN EGYPT	Assoc. Prof. Dr. Nourhan Abdel Rahman

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Giorgi Lomidze**	1	IMPACT OF DYNAMIC CAPABILITIES ON INNOVATION PERFORMANCE IN COMPANIES	Dr. Jelena Markovic
		2	A HYBRID PSO-NM ALGORITHM FOR NELSON-SIEGEL-SVENSSON MODEL CALIBRATION	Ms. Student Nadia El-Fahmi Dr. Karim Benali Dr. Samira Haddad
		3	EFFECTS OF FLUCTUATING OIL PRICES ON THE EXPANSION OF RENEWABLE ENERGY	Omar Al-Mansouri
		4	LEAN HEALTHCARE IMPLEMENTATION: BARRIERS AND ENABLERS IN THE COLOMBIAN HEALTH SYSTEM	Assoc. Prof. Dr. Catalina Gómez Juan Carlos Morales
		5	IDENTIFYING CHALLENGES IN LEAN MANUFACTURING ADOPTION IN INDIAN INDUSTRIES	Dr. Rajesh Kumar
		6	PROMOTING LOCAL ECONOMIES THROUGH ONE VILLAGE ONE PRODUCT INITIATIVE AND CUSTOMER SATISFACTION	Siti Nurhaliza Ahmad Fauzi
		7	ANALYSIS OF FACTORS LEADING TO THE DECLINE OF ENGINEERING FIRMS DURING THE GLOBAL FINANCIAL CRISIS	Prof. Dr. Giorgi Lomidze
			MODELS OF CONSUMER BEHAVIOR AND THE ROLE OF EMOTIONAL FACTORS IN PURCHASE DECISIONS	Miguel Fernandez
		8	THE INFLUENCE OF EMOTIONAL INTELLIGENCE ON LEADERSHIP EFFECTIVENESS IN ORGANIZATIONS	Assoc. Prof. Dr. Layla Hassan

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Carolina Alves**	1	COMPETENCY-BASED EDUCATION FOR PROCUREMENT SPECIALISTS IN CANADA	Dr. Samuel Dubois
		2	DEVELOPING AN AUDIT QUALITY FRAMEWORK FOR AN EMERGING MARKET: A CASE STUDY OF BRAZIL	Dr. Isabella Oliveira Dr. Rafael Costa
		3	IMPACT OF INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS ON PROFITABILITY OF BRAZILIAN PHARMACEUTICAL FIRMS	Assis. Prof. Dr. Carolina Alves
		4	THE EFFECT OF MOTIVATION, TRUST, AND CULTURAL DIVERSITY ON KNOWLEDGE SHARING VIA EMAIL IN ARGENTINA	Dr. Ricardo Gomez
		5	FACTORS INFLUENCING EARNINGS RESPONSE COEFFICIENT IN A DEVELOPING ECONOMY: EVIDENCE FROM CHILE	Dr. Valentina Morales
		6	CHALLENGES IN IMPLEMENTING ACCOUNTING INFORMATION SYSTEMS IN MEXICAN CORPORATIONS	Elena Rodriguez
		7	STRATEGIC PLANNING OF SUSTAINABLE SUPPLY CHAINS WITH RISK MITIGATION IN COLOMBIA	Catalina Vargas Andrés Herrera
			ETHICS AND CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY INFLUENCING CORPORATE GOVERNANCE IN MULTI-LEVEL MARKETING COMPANIES: A CROSS-SECTIONAL STUDY IN PERU	Sofia Guzmán
		8	FINANCIAL REPORTING TRANSPARENCY AND INVESTMENT EFFICIENCY: EMPIRICAL EVIDENCE FROM VENEZUELA	Javier Castillo

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assis. Prof. Fatima Adebayo**	1	EXAMINING THE IMPACT OF ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGY ON WOMEN'S WELL-BEING IN LAGOS	Assis. Prof. Fatima Adebayo
		2	ANALYZING THE ABUSE OF LEGAL AUTHORITY WITHIN LOCAL COMMUNITIES	Kwame Mensah
		3	THE INTERPLAY BETWEEN SOCIAL STRUCTURES, INVOLUNTARY CONNECTIONS, AND URBAN MARGINALIZATION	Ali Rezaei
		4	KNOWLEDGE TRANSFER AND TRANSLATION OF TECHNICAL DOCUMENTATION ACROSS BORDERS	Dr. Leila Hassan
		5	THE INFLUENCE OF ISLAMIC ART ON TEXTILE DESIGN IN MOROCCO	Amina Benali
		6	NAVIGATING COMPLEX SYSTEM ARCHITECTURES: MODELS, STRUCTURES, AND DYNAMIC ADAPTATIONS	Jean-Pierre Dubois Sophie Leclerc
		7	ASSESSING THE ROLE OF THE EUROPEAN UNION IN PROMOTING LIBERTY, SECURITY, AND JUSTICE GLOBALLY	Dr. Isabelle Moreau
		8	PATTERNS AND DRIVERS OF EMIGRATION FROM UKRAINE	Assoc. Prof. Dr. Olena Shevchenko
		9	A COMPREHENSIVE EVALUATION OF OPEN DATA PORTALS AS EMERGING PUBLIC E-SERVICES	Jan Novák

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Öğr. Üyesi Hakan DEĞERLİ**	1	VALUE-BASED MANAGEMENT IN HEALTHCARE: A CONCEPTUAL APPROACH	Dr. Öğr. Üyesi Hakan DEĞERLİ Dr. Havvana DEĞERLİ
		2	KÜRESEL BİR UNUTKANLIK: DİJİTAL AMNEZİ VE TOPLUMSAL ETKİLERİ	Ayşe KEMER Prof. Dr. Şebnem YÜCEL
		3	HEALTHCARE INFORMATION TECHNOLOGIES: SAMPLE APPLICATIONS	Ayşe KEMER Prof. Dr. Şebnem YÜCEL
		4	TÜRKİYE'DE VE DÜNYA'DA GEÇİCİ KORUMA UYGULAMALARI VE SEÇİLİ ÜLKELERLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZ	Yüksek Lisans Öğrencisi Süleyman GÖRGÜÇ
		5	SAĞLIKTA DİJİTALLEŞME VE İYİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ	Arş. Grv. Semanur ÇELİK Doç. Dr. Erdal EKE
		6	DİJİTAL SAĞLIK EKOSİSTEMİ OLUŞTURMA YOLUNDA TÜRKİYE: MEVCUT DURUM ANALİZİ	Arş. Grv. Semanur ÇELİK Doç. Dr. Erdal EKE

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assoc. Prof. Dr. Seher DİRİCAN**	1	ALGAE AND ESSENTIAL FATTY ACIDS: A RICH BIOLOGICAL RESOURCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENHANCED PRODUCT PRODUCTIVITY	Assoc. Prof. Dr. Seher DİRİCAN
		2	VIRTUAL WATER AND WATER RESOURCES MANAGEMENT: PERSPECTIVE VIEWS AND WAY FORWARD	Assoc. Prof. Dr. Seher DİRİCAN
		3	BİTKİLERİN FİTOREMEDİASYON POTANSİYELLERİNİN DOKU KÜLTÜRÜ YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ	Doç. Dr. Burcu ÇETİN
		4	BİTKİLERE GEN AKTARIM YÖNTEMLERİ	Doç. Dr. Burcu ÇETİN
		5	CONTRIBUTION TO THE PHYLOGENY AND MOLECULAR DATING OF Rupicapra rupicapra FROM TÜRKİYE BASED ON MITOCHONDRIAL COI SEQUENCES	MSc Student Serap ÖZDEMİR Asst. Prof. Dr. Yasin UÇARLI Asst. Prof. Dr. Ahmet Yesari SELÇUK Asst. Prof. Dr. Perinçek Seçkinozan ŞEKER
		6	ANTI-PROLIFERATIVE AND APOPTOTIC EFFECT OF PRENANTHES PETIOLATA (K. KOCH) SENNIKOV LEAF EXTRACT ON HUMAN GLIOBLASTOMA CELLS	Dr. Öğr. Üyesi Fatma YILDIZ Dr. Öğr. Üyesi Semra ALKAN TÜRKUÇAR Doç. Dr. Ayça AKTAŞ KARAÇELİK

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Selim MERT**	1	THE PHYTOTOXICITY OF DEEP EUTECTIC SOLVENTS FROM MENTHOL AND FATTY ACIDS	Ružica ŽDERO PAVLOVIĆ Denis UKA Teodora KUKRIĆ Marina PUTNIK-DELIĆ Ivana MAKSIMOVIĆ Boris M. POPOVIĆ
		2	RADIAL GROWTH VARIABILITY AND CLIMATE RESPONSE OF TWO PINUS HALEPENSIS AFFORESTATIONS FROM CENTRAL ALBANIA	Arben Q. Alla Edmond Pasho
		3	The Relationship between the Number of Eggs Consumed Per Capita and Total Laying Feed Production in Turkey	Dr. Selim MERT
		4	THE ROLE OF BIOSTIMULANTS IN AGRICULTURE	Doç. Dr. Ahmet ÇAT Nurfidan CANGİR
		5	MAJOR FUNGAL PATHOGENS AFFECTING POMEGRANATE (Punica granatum L.) FRUITS AND ALTERNATIVE CONTROL STRATEGIES	Doç. Dr. Ahmet ÇAT Mercan ALTUNBAŞ
		6	ISI ADALARI VE KENT TARIMI: KENTSEL ALANLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİ	Doç. Dr. Sevinç BAŞAY
		7	İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN KABA YEM ÜRETİMİ VE KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ	Ziraat Mühendisi Cumhur ÇETİN Doç. Dr. Hande Işıl AKBAĞ
		8	TÜRKİYE'NİN ANTEP FISTIĞI TİCARETİNDE ULUSLARARASI REKABET GÜCÜNÜN ANALİZİ	Zir. Müh. Gül BİNBOĞA Prof. Dr. Nevin DEMİRBAŞ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Öğretim Üyesi Erdinç ŞENGÜLDÜR**	1	THE EFFECTS OF BACK PAIN ON DISABILITY IN NURSES WORKING IN HOSPITALS. A CROSS-SECTIONAL STUDY	Dr. can. Sebastjan Mjekaj Prof. as. Dr. Enkeleda Sinaj Dr. Julian Kraja
		2	Effect of Coffee Consumption on Health: Does Drinking Coffee Increase Pre-existing Risk Factors Worse?	Assist. Prof. K.R.Padma Reader K.R.Don
		3	BURNOUT AND EMOTIONAL EXHAUSTION IN SURGICAL NURSES AT THE SHKODRA REGIONAL HOSPITAL. A CROSS-SECTIONAL STUDY	Dr. can. Silvana Belisha Prof. Dr. Ilirjana Zekja Doc. Valbona Dibra Msc. Elsiona Qallia
		4	Wrong Phase, Right Diagnosis: Incidentally Detected De Bakey Type 1 Aortic Dissection	Dr. Öğretim Üyesi Erdinç ŞENGÜLDÜR
		5	TRADİTİONAL DİETARY HABİTS AND GASTRİC CANCER RİSK İN BİTLİS PROVİNCE	Dr. Öğr. Üyesi Cihan ÖNEN
		6	FEMOROPOPLİTEAL ARTER TIKANIKLIKLARINDA ENDOVASKÜLER GİRİŞİMSEL TEDAVİNİN ETKİNLİĞİ: TEK MERKEZ DENEYİMİ	Doç.Dr.Kaptanıderya TAYFUR Doç.Dr.Ferhat BORULU
		7	OBSTETRİK VE JİNEKOLOJİK CERRAHİ SONRASI YÜZEYEL CERRAHİ ALAN ENFEKSİYONLARI	Op.Dr.Elif KELEŞ TAYFUR
		8	NUCK KANAL KİSTİ OLGU SUNUMU	Dr Ahmet SAVRAN Doç Dr Faruk PEHLİVANLI Prof Dr Oktay AYDIN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Sibel KARAKAYA**	1	KİTOSAN FİLM KAPLAMALARIN GIDALARDA KORUYUCU ETKİSİ	Öğr. Gör. Zeynep Şebnem Yakar Prof. Dr. Remziye Aysun Kepekçi
		2	NOVEL STRATEGIES FOR FAT REDUCTION IN FOOD PRODUCTS	Prof. Dr. Yeşim ELMACI Yağmur ÖZCAN
		3	GIDA AMBALAJINDA SÜRDÜRÜLEBİLİR VE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR	Meryem Özmaden Dr. Öğr. Üyesi Deniz Ekmekçioğlu
		4	USE OF ROSE HIP AND SOUR CHERRY SEED FLOUR IN PASTA PRODUCTION	Dr. Öğretim Üyesi, Ali CİNGÖZ
		5	SÜT ve SÜT ÜRÜNLERİNİN KURUTULMA YÖNTEMLERİ ve KALİTE ÜZERİNE ETKİLERİ	Sedef Kübra BİLGİN Dr. Öğr. Üyesi Melike DEMİRKOL
		6	FROM WASTE TO HEALTH: KERATIN	Prof. Dr. Sibel KARAKAYA Gülşah ÇAVUŞ
		7	THE EFFECT OF AMARANTH FLOUR ON ACRYLAMIDE FORMATION IN BISCUITS	Gülşah ÇAVUŞ Prof. Dr. Sibel KARAKAYA

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN**	1	CHANGING LANDSCAPES TO THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE IN URBAN AREAS	Feran AŞUR Nursevil YUCA
		2	ENVI-met ile Kentsel Mikroiklim Modellemesi: Yeşil Altyapı ve İklim Dostu Kent Tasarımları Üzerine Derleme	Nursevil YUCA Feran AŞUR
		3	PANDEMIC CHALLENGES AND THE USE OF URBAN OPEN SPACE	Dr. Öğr. Üyesi, Aysel YAVUZ Prof. Dr., Nilgün GÜNEROĞLU Prof. Dr., Habibe ACAR
		4	THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON DESIGN EDUCATION AND LANDSCAPE ARCHITECTURE	Dr. Öğr. Üyesi, Aysel YAVUZ Prof. Dr., Habibe ACAR Prof. Dr., Nilgün GÜNEROĞLU
		5	GELENEKSEL YERLEŞMELER VE BİYOFİLİK TASARIM	Elif Nur UCA Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN
		6	GELENEKSEL ANADOLU KONUT MİMARİSİ, YAPAY ZEKA VE GÜNCEL YORUMLAR	Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN Elif Nur UCA
		7	ŞEHİR İÇİ YAYA KALDIRIMLARINDA HİZMET DÜZEYLERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Araştırma Görevlisi Duygu ŞENOL Doç. Dr. Süheyla Pelin ÇALIŞKANELLİ Prof. Dr. Serhan TANYEL

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BAYKAL Öğr. Gör. Dr. Ahmet İLKER**	1	HİBRİT FRP-ÇELİK DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ	Emre BOZDOĞAN Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
		2	BATI KARADENİZ BÖLGESİ'NDE METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ: SYİ VE RUN TEORİSİ YAKLAŞIMI	Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BAYKAL Öğr. Gör. Dr. Ahmet İLKER
		3	ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DIFFERENT HEAVY VEHICLE RATIOS AT SIGNALIZED INTERSECTION: A SIMULATION-BASED EVALUATION	Ceren YILDIRIM Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ
		4	ORTALAMA KAYMA DALGASI HIZININ BELİRLENMESİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDEKİ ROLÜ	İnşaat Yüksek Mühendisi Tarık TUFAN Doç. Dr. Erdinç KESKİN
		5	DÜZCE İLİ İMARA ESAS YERLEŞİM ALANLARINDA SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN SPT VERİLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ	İnşaat Mühendisi Sahranur TAŞER AYDIN Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER
		6	EDİRNE-İPSALA ÖRNEĞİNDE ZEMİN SIVILAŞMA RİSKİNİN TBDY 2018 KAPSAMINDA İNCELENMESİ	Rıdvan ZORER Doç. Dr. Erdinç KESKİN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu**	1	INVESTIGATION OF THE REFLECTION PROPERTIES OF TE-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES FROM MULTILAYER DIELECTRIC FILMS	Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu
		2	ANALYSIS OF THE REFLECTION PROPERTIES OF TM-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES FROM MULTILAYER DIELECTRIC FILMS	Doç. Dr. Fadıl Kuyucuoğlu Dr. Öğr. Üyesi. İsmail Irmakçı
		3	DEVELOPMENOF ENERGY MANAGEMENT SYSTEM AND ENERGY SHARING ALGORITHMS FOR UAV SWARMS	Ayşe Sude VATANSEVER Assoc. Prof. Ercan İZGİ
		4	KAĞIT FABRİKASI ELEKTRİK ENERJİSİ KALİTESİ ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Onur GAFAR Doç. Dr. Kenan GENÇOL
		5	A CLUTTER-FREE MONOSTATIC ISAC MODEL: POWER EFFICIENCY AND TRADE-OFF BETWEEN SENSING AND COMMUNICATION	MSc. Student Bilal TOUAHAR Assoc. Prof. Dr. Selman KULAÇ
		6	PRINTING THE GREEN FUTURE: A REVIEW ON THE ROLE OF 3D PRINTED ELECTRODES IN GREEN HYDROGEN	Hüseyin NAZLIGÜL Başak DOĞRU MERT Mehmet Erman MERT
		7	ENHANCING SOLAR PV PANEL PERFORMANCE: A REVIEW OF THERMAL MANAGEMENT, MATERIAL INNOVATIONS AND ANTI-SOILING TECHNIQUES	Hüseyin NAZLIGÜL Başak DOĞRU MERT
		8	ÇİFT YÜZEYLİ SABİT PV PANEL SAHASINDA AGRİVOLTAİK SİSTEMİN TARIM VE ENERJİ ÜRETİMİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: VAN İLİ ÖRNEĞİ	Ali Serkan Avcı Fatih Yalın

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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 M. Nergis ATAÇAY**	1	STRATEGIC PRIORITIES FOR STRENGTHENING NATIONAL SECURITY IN UZBEKISTAN	Sotvoldiyev Jakhongir Sultonali ogli
		2	BEKLENTİ TEORİSİNİN KOLEKTİF HAFIZA VE DUYGULAR EKSENİNDE GENİŞLETİLMESİ: KIBRIS ÇATIŞMASINA YÖNELİK KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME	Ezgi YARAMANOĞLU
		3	ÇATIŞMA ÇÖZÜMÜ BAĞLAMINDA 2.KARABAĞ SAVAŞI	Yüksek Lisans Öğrencisi Adıl Mammadov
		4	ÇOK KUTUPLU DÜNYA DÜZENİNDE BRICS'İN KONUMLANIŞI: BATI'YA KARŞI KURUMSAL OLMAYAN BİR ALTERNATİF	Dr. Öğr. Üyesi M. Nergis ATAÇAY
		5	ÇİN'DE Xİ JİNPİNG DÖNEMİ: GEÇMİŞ DÖNEMLERLE EKONOMİ POLİTİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME	Dr. Öğr. Üyesi M. Nergis ATAÇAY
		6	THE ROLE OF THE EUROPEAN UNION'S FREE TRADE AGREEMENTS IN PROMOTING SUSTAINABLE TRADE PRACTICES	AYAN ABDULLAHI MOHAMED Assoc.Prof.Dr. SEDA EKMEN ÖZÇELİK
		7	THOMAS JEFFERSON'IN YERLİ HALKLARA YÖNELİK SÖYLEMİ VE EPİSTEMİK TAHAKKÜM: HARRİSON (1803) VE HUMBOLDT (1813) MEKTUPLARI ÜZERİNDEN BATI YÖNLÜ GENİŞLEMEYİ MEŞRULAŞTIRMAK	Yüksek Lisans Öğrencisi Hatice Kübra DEMİR
		8	IRAN AND TURKMENISTAN RELATIONS IN THE CONTEXT OF THE LEGAL AND INTERNATIONAL STATUS OF THE CASPIAN SEA	Doç. Dr. Meral BALCI Mehmet Şirin PİROL
		9	GELENEKSEL OLMAYAN GÜVENLİK TEHDİTLERİ, SİBER GÜVENLİK, ARAP BAHARI, YAPAY ZEKA VE HİBRİT TEHDİTLERİN ULUSLARARASI İLİŞKİLERDEKİ YERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi İrem TABİRLİOĞLU
		10	TURKEY'S INTERNATIONAL IMAGE BUILDING THROUGH DEFENSE INDUSTRY	Res. Asst. Dr. Emirhan ALTUNKAYA

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Sedef Nehir El**	1	KALDIRIK OTUNDAN (TRACHYSTEMON ORİENTALİS) PROTEİN İZOLATI ELDESİ ve ELDE EDİLEN İZOLATIN BAZI YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	Merve Eda Eker Özkacar Prof. Dr. Sibel Karakaya
		2	EVALUATION OF THE BINDING CAPACITIES BETWEEN GRAPE SKIN ANTHOCYANINS AND PLANT PROTEINS	Nergis Gizem Kırkhan Prof. Dr. Sibel Karakaya
		3	BCM-7: Formation and Effects on Health	Avni Oğulcan Coşkunışık Prof. Dr. Sedef Nehir EL
		4	ULTRA-PROCESSED FOODS: FOOD PROCESSING AND FORMULATION EVALUATION	Doğa PEKSEVER Prof. Dr. Sedef Nehir EL
		5	CHALLENGES TO OVERCOME IN THE INDUSTRIALIZATION OF ALTERNATIVE PROTEIN SOURCES	Gülsah Pekdemir Prof. Dr. Sedef Nehir El
		6	DESIGNED DIGESTIBILITY OF OLEOGEL STRUCTURES	Prof. Dr. Sedef Nehir El
		7		

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Irina Petrova**	1	ASSESSING DRIVING BEHAVIOR UNDER VARYING ROAD CONDITIONS AND MEDIA CONSUMPTION	Dr. Kenji Tanaka
		2	ANALYZING THE POLITICS OF PARTY DEFECTION IN NIGERIAN POLITICAL LANDSCAPE	Ifeoma Okoro Chukwuemeka Eze
		3	ANALYSIS OF THE RUSSIAN CONSTITUTIONAL COURT'S PERSPECTIVE ON BANKING SECRECY AND CITIZENS' RIGHTS	Prof. Irina Petrova
		4	RECOGNITION AND PROTECTION OF INDIGENOUS COMMUNITIES WITHIN INDONESIAN LEGAL FRAMEWORK	Agus Setiawan Dewi Rahayu
		5	NECESSITY OF NATIONAL SPACE LEGISLATION FOR STATES ENGAGED IN SPACE ACTIVITIES	Takashi Nakamura Lin Wei
		6	CIVIL LIBERTIES DURING ARMED CONFLICTS: A CONSTITUTIONAL LAW PERSPECTIVE	Assis. Prof. Alessandro Rossi
		7	EVALUATING THE POTENTIAL OF FORENSIC MEDICAL RESEARCH ON SALIVA STAINS AFTER WASHING	Aigerim Saparova
		8	MITIGATING CHALLENGES IN DIGITAL EVIDENCE ACQUISITION FOR SECURING LEGAL ACCEPTANCE	Dr. Isabella Costa
		9	THE ROLE OF THE EUROPEAN UNION IN GLOBAL GOVERNANCE MECHANISMS	Elena Popescu

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Nattaporn Chaiyaporn**	1	A COMPARATIVE ANALYSIS OF ZOTERO AND MENDELEY REFERENCE MANAGEMENT TOOLS	Sujata Roy
		2	ETHICAL CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN SOCIAL MEDIA COUNSELING PRACTICES	Dr. Eleni Papadopoulou Lecturer Andreas Kleftaras
		3	META-ANALYSIS OF MATERNAL SMOKING AND ITS EFFECTS ON CHILDHOOD OBESITY RISK	Martina Novak Jacques Dubois Tyrone Campbell
		4	EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF PARENT TRAINING PROGRAMS ON CHILDHOOD OBESITY PREVENTION	Assoc. Prof. Dr. Nattaporn Chaiyaporn
		5	UNDERSTANDING PRIMARY SCHOOL STUDENTS' ATTITUDES TOWARD PRO-ENVIRONMENTAL BEHAVIOR ADOPTION	Dr. Astrid van der Meer Dr. Pierre Lefevre
		6	EXPLORING THE RELATIONSHIP BETWEEN SENSORY PROCESSING AND COGNITIVE DEFICITS IN CHILDREN WITH AUTISM IN SAUDI ARABIA	Rana Al-Mutairi Laila Al-Harbi Shahid Khan
		7	FACTORS INFLUENCING YOUNG SAUDI WOMEN'S ADHERENCE TO OR DEVIATION FROM TRADITIONAL FAMILY NORMS	Assoc. Prof. Dr. Maha Al-Qahtani
			PARENTING STYLE AS A PREDICTOR OF CHILDREN'S COGNITIVE EMOTION REGULATION: FAMILY TYPE AND GENDER CONSIDERATIONS	AKM Rezaul Islam Tania Rahman Abu Yusuf
		8	COMPARING TEACHERS' AND STUDENTS' PERCEPTIONS OF CLASSROOM MISBEHAVIOR: SIMILARITIES AND DIFFERENCES	Prof. Dr. Rachel C. F. Wong

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assis. Prof. Dr. Elena Ferraro**	1	ANALYSIS OF TEAM MEMBERS' BEHAVIOR IN VIRTUAL ORGANIZATIONS BASED ON TRUST AND LEARNING DIMENSIONS	Dr. Nalini Rajan K. S. Prakash
		2	AUTOMATED CLASSIFICATION ENHANCEMENT FOR ALCOHOLIC AND NON-ALCOHOLIC IDENTIFICATION	Dr. Vijay Kumar
		3	RHETORICAL COMMUNICATION IN THE COGNITIVE SCIENCE DISCOURSE COMMUNITY: A STUDY OF NEUROSCIENCE LITERATURE IN SCIENTIFIC DISSEMINATION	Maria Russo
		4	REASONING AND BEHAVIOR IN ADULTHOOD: A PSYCHOLOGICAL PERSPECTIVE	Assis. Prof. Dr. Elena Ferraro
		5	A MODEL FOR COGNITIVE CLASSIFICATION OF FREQUENCY SIGNALS IN NEUROSCIENCE	Elena Ferraro Maria Russo Giovanni Esposito
		6	EFFECTS OF PROBABILITY AND INSTRUCTION ON SYLLOGISTIC CONDITIONAL REASONING	Dr. João Silva Fernando Costa
		7	INVESTIGATION OF KANJI CHARACTER DISCRIMINATION USING EEG SIGNALS	Elena Ferraro Ivana Romano
			TEACHING INTRODUCTORY STATISTICS IN HEALTH, SOCIAL, AND BEHAVIORAL SCIENCES: HISTORICAL CONTEXT AND REFORM INITIATIVES	Hiroshi Tanaka Minoru Yamamoto
		8	EXPLORING THE ROLE OF EMOTION IN MORAL JUDGMENT: A MULTIDISCIPLINARY APPROACH	Prof. Dr. Amina Hassan

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Elena Popescu**	1	PROMOTING GENDER EQUITY THROUGH ISLAMIC INTERPRETATION: A CONTEXTUAL APPROACH	Dr. Fatima Hassan
		2	BA'ALBAKI'S INFLUENCE ON LEBANESE WOMEN'S LITERATURE (1950S-1960S)	Nadia Mansour
		3	HUMAN-ENVIRONMENT INTERACTION: AN ENVIRONMENTAL ETHICS PERSPECTIVE	Ratna Dewi
		4	PROTECTING HUMAN RIGHTS IN EUROPE: THE ROLE OF PARLIAMENTS	Assoc. Prof. Elena Popescu
		5	THE LASTING IMPACT OF EISENHOWER'S FAREWELL ADDRESS	Jan de Vries
		6	PROVIDING HUMAN SECURITY IN CONFLICT ZONES: THE PERSPECTIVE OF FRAGILE STATES	Dr. Aisha Sesay
		7	DEVELOPING A RELIABLE MEDIA CREDIBILITY SCALE	Layla Karim
		8	GENDER DISPARITIES IN RESEARCH: FUNDING, OUTPUT, AND COLLABORATION	Kenji Tanaka Sophie Dubois
		9	TRANSNATIONAL RESEARCH NETWORKS: A SWISS APPROACH TO GLOBAL DEVELOPMENT	Assis. Prof. Kwame Nkrumah
		10	BARRIERS TO MARITAL EXPECTATIONS AMONG INDIVIDUALS WITH HEARING IMPAIRMENTS IN OYO STATE	Abimbola Adebayo Chukwuemeka Okoro

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assoc. Prof. Dr. Marcus Bennett**	1	A COMPUTATIONAL MODEL OF MINIMAL CONSCIOUSNESS FUNCTIONS	Dr. Leila Haddad
		2	AN AFRICAN PERSPECTIVE ON LIFE MEANING AND PSYCHOSOCIAL FACTORS AMONG RECOVERING SUBSTANCE USERS	Fatoumata Diallo Kwame Mensah
		3	EVOLUTION OF ORGANIZATIONAL JUSTICE IN INCENTIVE DISTRIBUTION WITHIN THE MALAYSIAN PUBLIC SECTOR	Assoc. Prof. Nurul Afiqah
		4	GENDER DIFFERENCES IN AUTOBIOGRAPHICAL MEMORY AND COGNITIVE FLEXIBILITY	Dr. Iker Etxebarria Dr. Maite Zubizarreta
		5	CULTURAL ANXIETY AND ITS IMPACT ON INTERNATIONAL STUDENTS AT TSINGHUA UNIVERSITY: A CASE STUDY	Jinwoo Park
		6	RE-VICTIMIZATION OR THERAPEUTIC INTERVENTION: A CRITICAL ANALYSIS	Xiaoling Chen
		7	NARRATIVE THEORY AND THE UNCERTAINTY OF ORGANIZATIONAL CHANGE: INSIGHTS FROM MERGERS AND ACQUISITIONS	Assoc. Prof. Dr. Marcus Bennett
		8	CHILDREN'S ATTACHMENT STYLES IN IRAN: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN NURSERY AND FAMILY ENVIRONMENTS	Dr. Sahar Mohammadi
		9	DEVELOPMENT AND IMPLICATIONS OF A NOVEL HERDING BEHAVIOR MEASURE	Amina Benali Khaled Mansouri

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Rami Sammoura**	1	MONTE CARLO SIMULATION FRAMEWORK FOR ANALYZING INVESTMENT UNCERTAINTY	Dr. Amir Rezaei Dr. Faridah Ahmad Dr. Naveed Malik Dr. Saeed Khan
		2	CONSUMER RIGHTS AND THE AUTHENTICITY OF E-AUCTIONS: A CRITICAL EXAMINATION	Dr. Fiona Murphy
		3	E-PROCUREMENT AS A STRATEGIC SOLUTION FOR SUPPLY CHAIN OPTIMIZATION UNDER NEW BANKING REGULATIONS	Leila Farzan Dr. Hossein Moradi
		4	PATHWAYS TO WEB INTELLIGENCE MATURITY: STRATEGIC DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION	Kanya Srijuntongsiri
		5	CHALLENGES AND OPPORTUNITIES IN E-GOVERNANCE SERVICE ADOPTION	Zoran Petrovic
		6	IMPROVING TRANSFER PRICING STRATEGIES DURING ECONOMIC DOWNTURNS: INSIGHTS FROM THE CROATIAN CONTEXT	Haroula Nikolaidis
		7	APPLICATIONS OF CONIC OPTIMIZATION AND QUADRATIC PROGRAMMING IN INDEX ARBITRAGE: EVIDENCE FROM THAILAND'S DERIVATIVES MARKETS	Dr. Jasminka Radulovic
			SIMULATION-BASED DECISION MODEL FOR BID PRICING IN COMPETITIVE MARKETS	Dr. Niran Tungsiri Kanya Srijuntongsiri
		8	MONTE CARLO SIMULATION FRAMEWORK FOR ANALYZING INVESTMENT UNCERTAINTY	Assis. Prof. Dr. Rami Sammoura

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Dr. Michael Adeyemi**	1	INTEGRATING TECHNOLOGY TO CONNECT LEARNING EXPERIENCES INSIDE AND OUTSIDE THE CLASSROOM	Dr. Michael Adeyemi
		2	ENHANCING RESEARCH DEGREE LEARNING THROUGH LANGUAGE PRACTICE CONTROL IN ELECTRONICS ENGINEERING	Emily Johnson Claire Thompson
		3	EXPLORING THE IMPACT OF INPUT MODALITY ON LANGUAGE LEARNING INVOLVEMENT	Dr. Maria Santos
		4	THE EFFECT OF GRADE SENSITIVITY ON STUDENT MOTIVATION AND ACADEMIC SUCCESS	Omar Al-Farouq
		5	DEVELOPING CONCEPT CARTOONS FOR EARLY CHILDHOOD EDUCATION: A POSTGRADUATE PROGRAM IN EGYPT	Assist. Prof. Fatima El-Sayed Dr. Nour Hassan
		6	EVALUATING THE ANDALUS LEARNING MODEL'S INFLUENCE ON STUDENT ACADEMIC AND EMOTIONAL DEVELOPMENT	Ahmed Khalil M. Youssef
		7	INNOVATION AMONG MILLENNIAL TEACHERS IN CANADA: NAVIGATING TRADITIONAL CONSTRAINTS	Assoc. Prof. Dr. Rachel McKenzie
		8	USING QR CODES TO FACILITATE QUICK ACCESS TO KINDERGARTEN EDUCATIONAL RESOURCES	Elena Petrova
		9	BRIDGING ENGLISH LANGUAGE TEACHING AND PSYCHOLOGY FOR ENGINEERING STUDENTS	Ahmed Khalil M. Youssef

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Kanya Charoensuk**	1	HUBS AS TRIGGERS FOR SPATIAL COMMUNICATION IN KINSHIP NETWORKS	Samuel Okoro, Amina Yusuf
		2	THE U.S. AND CENTRAL ASIA: FAITH, POLITICS, AND IDEOLOGY	Zarina Nurmagambetova, Aigul Tursunova, Ermek Bektursunov, Dana Kadyrova
		3	GENDER DIFFERENCES IN SOCIAL NETWORK GAME USAGE: AN EXPLORATORY STUDY	Min-Jae Lee, Hyun-Soo Park
		4	ELECTRONIC VOTING: ASSESSING TRUST AND SECURITY FROM TECHNOLOGICAL, POLITICAL, AND SOCIAL PERSPECTIVES	Nurul Aisyah, Faridah Hassan
		5	FOOT SIZE MODELING USING KOHONEN SELF-ORGANIZING MAPS	Nadia Ben Salem
		6	THE IMPACT OF FINANCIAL SYSTEMS ON MIXED-USE DEVELOPMENT: TURMOIL IN THE UK AND SAFETY PERCEPTIONS	Dr. Fiona McAllister
		7	POLITICAL INFORMATION EXPOSURE AND POLITICAL PARTICIPATION IN BANGKOK METROPOLITAN AREA	Prof. Dr. Kanya Charoensuk
		8	METROPOLITAN TRANSFORMATIONS IN MEDITERRANEAN CITIES IN THE CONTEXT OF MODERN ADVANCEMENTS	Dr. Youssef Al-Mansouri
		9	SPATIAL ANALYSIS AND STATISTICAL ZONING OF URBAN AREAS	Luca Romano, Giovanni Esposito

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Lars Hansen**	1	SUPPLY CHAIN RESILIENCE AND BLOCKCHAIN TECHNOLOGY ADOPTION AMONG LOGISTICS PROVIDERS IN SINGAPORE	Dr. Lim Wei Jie Isabella Tan
		2	FOSTERING COLLABORATIVE INNOVATION IN AUTOMOTIVE MANUFACTURING: A FOCUS ON ORGANIZATIONAL CULTURE AND EMPLOYEE ENGAGEMENT	Dr. Heidi Müller Dr. Klaus Richter
		3	IMPACT OF E-COMMERCE PLATFORM DESIGN ON ONLINE CONSUMER TRUST IN THE BRAZILIAN RETAIL SECTOR	Carolina Oliveira Ricardo Santos
		4	INTEGRATING SUSTAINABILITY PRINCIPLES INTO ORGANIZATIONAL MANAGEMENT SYSTEMS IN SWEDISH COMPANIES	Elin Svensson Johan Karlsson
		5	COMPULSORY DIGITAL DOCUMENT EXCHANGE IN SLOVAKIA: A COMPARATIVE STUDY OF EXPECTATIONS AND REALITIES	Assis. Prof. Jana Novotná
		6	PRODUCTIVITY ASSESSMENT OF AGRICULTURAL SECTOR IN BANGLADESH: A DATA ENVELOPMENT ANALYSIS APPROACH	Farhana Rahman Tanvir Ahmed Kabir Hossain
		7	SUSTAINABILITY-ORIENTED INNOVATION AND COMPANY PERFORMANCE IN THE DANISH FASHION INDUSTRY: A CONCEPTUAL FRAMEWORK	Prof. Dr. Lars Hansen
			DETERMINANTS OF ISLAMIC BANKING ADOPTION IN INDONESIA	Muhammad Ilham Aisyah Putri Faisal Karim
		8	SURVIVAL ANALYSIS OF NEWLY ESTABLISHED FIRMS IN THE PORTUGUESE TOURISM INDUSTRY	Ana Costa Rui Santos

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assoc. Prof. Dr. Darunee Thiamthai**	1	PRESERVING CULTURAL HERITAGE: SUSTAINABILITY OF URBAN CEMETERIES AND THE SHIFTING LANDSCAPE OF BURIAL PRACTICES AMONG MALAY COMMUNITIES IN THE KUALA LUMPUR AREA	Dr. Amir Hassan Assis. Prof. Rizal Ibrahim
		2	THE MAKING OF A NIHILIST: CONTEXTUAL INFLUENCES ON THE PHILOSOPHICAL DEVELOPMENT OF EMIL CIORAN	Dr. Ioana Popescu
		3	GLOBAL RECOGNITION OF THAI CINEMA: KEY ATTRIBUTES OF SUCCESSFUL THAI FILMS IN INTERNATIONAL FILM MARKETS	Siriporn Thongchai
		4	A COMPARATIVE GENESIS: DISTINCT ORIGINS OF KAZAKH ACROBATS (SALS, SERIS, AND PALUANS) VERSUS EUROPEAN JONGLEURS AND RUSSIAN SKOMOROKHS	Galym Zhakupov
		5	NAVIGATING MEDIA LITERACY: INFLUENTIAL FACTORS ON EARLY TEENAGERS EXPOSED TO 'BORIA' DRAMAS IN MALAYSIA	Prof. Dr. Amina Rahman
		6	FROM TAYLORISM TO THE DIGITAL AGE: RE-EXAMINING POWER DYNAMICS IN KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEMS	Chai Srisawat
		7	ORNAMENTATION AS A UNIVERSAL LANGUAGE OF PEACE: A CROSS-CULTURAL ANALYSIS OF PROTO-TURKIC ART AND NATIVE AMERICAN TRIBAL DESIGNS	Robert Johnson
			RELIABILITY AND CREDIBILITY: FACTORS INFLUENCING THE EFFECTIVENESS OF THE NATIONAL PRESS COUNCIL OF THAILAND FROM THE PERSPECTIVE OF JOURNALISTS	Aisuluu Sydykova Meerim Baktybekova
			POLITICAL MODERNIZATION IN KAZAKHSTAN: AN ANALYSIS OF PARTY DEVELOPMENT STRATEGIES	Assoc. Prof. Dr. Darunee Thiamthai
		8	PRESERVING CULTURAL HERITAGE: SUSTAINABILITY OF URBAN CEMETERIES AND THE SHIFTING LANDSCAPE OF BURIAL PRACTICES AMONG MALAY COMMUNITIES IN THE KUALA LUMPUR AREA	Aisuluu Sydykova

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assist. Prof. Sebahattin KUCUK**	1	Gelenekten Geleceğe: Tanbur Çalımında Bağa Mızrap Kullanımı ve Sürdürülebilir Alternatiflerin Ekolojik Önemi	Müzik Öğretmeni Sena GÜNEŞ
		2	ÇOCUK KİTAPLARINDAKİ RESİMLERİN ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİR İNCELENME	Y.L. Öğr. Özge ORHAN Y.L. Öğr. Ahmet Kemal GÜNDÜZ Doç. Orhun TÜRKER
		3	Preservation and Rescue of Cultural Heritage Assets Threatened by Dam Construction Projects	Assist. Prof. Sebahattin KUCUK
		4	İNFOGRAFİKLERDE ETİK SINIRLAR: BİLGİNİN MANİPÜLASYONU VE TASARIM SORUMLULUĞU	Arş. Gör. Renç ŞİLİT
		5	RESİMDE IŞIK VE GÖLGE: DİJİTAL UYGULAMALAR	Doç. Şuayyip YÜCEL Aslınur KOÇ
		6	YENİ KAVRAMSALCILIK AKIMI İLE SERAMİĞİN KAVRAMSAL SANAT BAĞLAMINDA GÖRÜNÜRLÜĞÜ	Gizem YÜKSELER

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof., Dr. Hajar Huseynova**	1	DEVELOPING CHINESE (发展汉语) DERS KİTABINDA KÜLTÜREL ÖĞELERİN ÖĞRETİMSEL İŞLEVİ	Öğr. Gör. Aslınur İLCİ Dr. Öğr. Üyesi Feyza GÖREZ
		2	BERNHARD SCHLİNK'İN "DİE ENKELİN" (TORUN) ADLI ESERİNDE KİMLİK ARAYIŞI VE GEÇMİŞLE YÜZLEŞME TEMALARI	Dr. Öğr. Üyesi Fehime Şeyma KÖSE
		3	Adverb in modern turkiclanguages	Assoc. Prof. ElshadAbishov
		4	Archaic military terms in the language of the "Kitabi-Dade Gorgud" epics	Prof., Dr. Hajar Huseynova

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Doktora Öğrencisi, Metehan ERASLAN**	1	GAZETECİ KEMAL SALİH SEL'İN POLONEZKÖY İZLENİMLERİ (1929)	Prof. Dr. Mevlüt ÇELEBİ
		2	MUSSOLINI'NİN BAŞARISIZ BİR GİRİŞİMİ: İTALYA-TÜRKİYE-YUNANİSTAN ÜÇLÜ İTTİFAKI	Prof. Dr. Mevlüt ÇELEBİ
		3	NAZİZM, HİTLERİZM VE FAŞİZM: TOTALİTER İDEOLOJİLER ARASINDA KURAMSAL VE TARİHSEL AYRIMLAR	Doktora Öğrencisi, Metehan ERASLAN
		4	THE RISE OF THE NORMANS IN SOUTHERN ITALY: MILITARY AND POLITICAL ACTIVITIES FROM THE COUNCIL OF MELFI (1059) TO THE ESTABLISHMENT OF THE NORMAN KINGDOM OF SICILY	Asst. Prof. Üyesi Fatih ŞEN
		5	HISTORY OF DEVELOPMENT OF AZERBAIJANSTIOLOGY	Assoc. Prof. Yegana Aliyeva
		6	Ş.MERCANİ ESERLERİNDEKİ "KAZAKLAR" VE "KAZAK HANLIĞI" SORUNLARI	Temirlan MARATULI
		7	AYDINOĞULLARI BEYLİĞİNİN (XIV. YÜZYIL) TIP LİTERATÜRÜNE DESTEKLERİ	Furkan TURHAN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Duran MAVİ**	1	YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİ: TÜRKİYE İÇİN ÖNERİLER	Emre ELGÜN
		2	THE EFFECT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE CAPABILITY ON ORGANIZATIONAL CREATIVITY AND ORGANIZATIONAL PERFORMANCE	Yüksek Lisans Öğrencisi Zeynep ULUTAŞ Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU Ar. Gör. Dr. Hülya TÜRKCAN
		3	DEPREM SONRASI ÇALIŞAN MEMNUNİYETİNDE DEĞİŞME OLDU MU? KAHRAMANMARAŞ'TA NİCEL BİR ARAŞTIRMA.	Doç. Dr. Ahmet Melih EYİTMİŞ Cenk OTLU
		4	KARİZMATİK LİDERLİĞİN İNŞASINDA SOSYAL MEDYA KULLANIMI VE ETİK PROBLEMLER	Dr. Duran MAVİ
		5	ÖZEL OKULLARDA ÖRGÜTSEL SESSİZLİK: NEDENLER VE SONUÇLAR ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Duran MAVİ
		6	THE MODERATING ROLE OF PSYCHOLOGICAL RESILIENCE AND INTRINSIC MOTİVATİON IN THE EFFECT OF WORKPLACE BULLYING ON EMPLOYEE CREATIVITY: A STUDY ON RESTAURANT EMPLOYEES	Doktorant Pelin CANDAR
		7	DİJİTAL DÖNÜŞÜM SÜRECİNDE İNSAN KAYNAKLARI YÖNETİMİ UYGULAMALARI ADÜ TEKNOPARK FİRMALARINDA BİR UYGULAMA	Gözde DEMİR Prof.Dr. Hüseyin ŞENKAYAS

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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.İbrahim Halil Efendioğlu**	1	EXAMINING THE ROLE OF ETHICAL CLIMATE IN THE RELATIONSHIP BETWEEN TOXIC LEADERSHIP AND JOB SATISFACTION FOR RETAIL SECTOR EMPLOYEES	Nilay KOSAL Prof.Dr. Serdar BOZKURT
		2	PRATFAL ETKİSİNİN İŞYERİNDE İNCELEMESİ	Ali Rıza ÇETİNKAYA
		3	ETİK TÜKETİCİ DAVRANIŞI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR MARKALAMA	Doç.Dr.İbrahim Halil Efendioğlu Yakup Tercan
		4	JOMO'NUN TÜKETİCİ DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Doç.Dr.İbrahim Halil Efendioğlu
		5	ZEYTİNYAĞI SEKTÖRÜNDE ENDÜSTRİYEL SİMBİYOZ: BİR DURUM ÇALIŞMASI	Özcan AKDEMİR Prof.Dr. Hüseyin ŞENKAYAS
		6	TELEKOMÜNİKASYON ŞİRKETLERİNİN SOSYAL MEDYA ARACILIĞIYLA KURUMSAL SOSYAL SORUMLULUK İLETİŞİMLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Arş. Gör. Dr. Ceyda CİHAN AYDOĞDU

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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., Günce DEMİR**	1	Doğanın Metalaşması ve Kentsel Tahakküm: Antroposen Çağında Hobi Bahçeleri	Doç. Dr., Günce DEMİR Yüksek Lisans Öğrencisi, Aleyna TAYDAŞ
		2	Mekânın Toplumsal Üretimi ve Metalaşması: Neoliberal Kentleşme ve Dijital Gösteri Pratikleri Bağlamında Ankara Botanik Parkı	Doç. Dr., Günce DEMİR Yüksek Lisans Öğrencisi, Aleyna TAYDAŞ
		3	A STUDY ON CHANGİNG NEİGHBORLY RELATİONSHİPS ACROSS GENERATİONS	Buket ŞEN
		4	KİTAPLAR KONUŞURSA: SARTRE İLE ZİHİNSEL HASBİHAL	Dr. Öğr. Üyesi SERHAT SOYŞEKERCİ
		5	THE RELATIONSHIP BETWEEN EARLY MALADAPTIVE SCHEMAS AND EMOTION REGULATION: THE MODERATING ROLE OF PERCEIVED PARTNER RESPONSIVENESS	Suennur TOKMAK

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Dr. Ece EROL**	1	SOCIAL MEDIA AND CANCEL CULTURE: EXAMPLES OF INFLUENCERS	Dr. Leyla YILDIRIM Dr. Semra AĞCABAY
		2	YOUTUBE HABER VİDEOLARINA YAPILAN KULLANICI YORUMLARININ TOPLUMSAL ALGILAR AÇISINDAN İÇERİK ANALİZİ	Yüksek lisans öğrencisi Gülin KÜÇÜKKAHRAMAN
		3	TRAVMATİK SAVRULUŞLAR, ESTETİZE İNTİKAMLAR VE HAYATTA KALABİLMENİN ACI ZAFERİ: HOLLYWOOD'DA DOMESTIC NOIR	Dr. Ece EROL
		4	DİJİTAL MEDYADA BAĞIMSIZ, OBJEKTİF VE GÜVENİLİR HABERCİLİK MÜMKÜN MÜ?	Prof. Dr. Mustafa İNCE Fatih ÜNLÜ
		5	AMATÖR FUTBOLUN POPÜLERLEŞMESİNDE MEDYA VE SOSYAL MEDYANIN ROLÜ	Fatih ÜNLÜ Prof. Dr. Mustafa İNCE

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Öğr.Gör.Dr. Suzan YILDIRIM**	1	EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN WRITING ACTIVITIES IN TURKISH TEXTBOOKS AND LEARNING OUTCOMES	Prof. Dr. BAŞAK KARAKOÇ ÖZTÜRK AYSEL MERVE ALYAPRAK
		2	BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ÖĞRETMENİ YETİŞTİRME PROGRAMLARININ YETERLİLİĞİ HAKKINDA BEDEN EĞİTİMİ ÖGRETMENLERİNİN GÖRÜŞLERİNİN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Zübeyr KIZILDİL Prof. Dr. Seyhan HASIRCI
		3	GELENEKSEL ÇOCUK OYUNLARININ HİSLERE OLAN ETKİSİ: YAĞ SATARIM BAL SATARIM ÖRNEĞİ	Öğretmen Fatma KURT Prof. Dr. Cengiz Özmen
		4	DIFFICULTIES ENCOUNTERED IN THE ONLINE ORFF-SCHULWERK EDUCATION PROCESS WERE EVALUATED ALONGSIDE THE STRATEGIES DEVELOPED TO ADDRESS THEM.	Fulya ÖCAL Prof. Dr. Begüm ÖZ
		5	STUDENT ATTITUDES TOWARD ACCREDITATION: A CASE STUDY IN FINE ARTS EDUCATION	Lara Nil KARCIK Prof. Dr. Begüm ÖZ
		6	360° PERFORMANCE EVALUATION IN HIGHER EDUCATION: A QUALITATIVE STUDY ON THE EXPERIENCES OF INSTRUCTORS	Öğr.Gör.Dr. Suzan YILDIRIM

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Dr. Öğretim Üyesi Nevra KAZANCI**	1	TÜRKİYE'DEKİ YAKIT ÖRNEKLERİNİN HIZLANDIRICI PROFİLİNİN GC/MS İLE BELİRLENMESİ VE YANGIN İNCELEMELERİ İÇİN REFERANS VERİ TABANI GELİŞTİRİLMESİ	Nadide Seçil GÜVENALTIN Doç.Dr. Kadir TURHAN Doç.Dr. OYA YETER
		2	Tiyadiazol Halkası İçeren Yeni Amit Türevlerinin Sentezi ve Yapılarının Aydınlatılması	Layth ammar husseın AL MULLA Doç. Dr. Hamdi ÖZKAN Dr. Öğr. Üyesi Doğukan DOYDUK
		3	Norkantarimit Halkası İçeren Yeni İmin Bileşiklerinin Sentezi ve Yapılarının Aydınlatılması	Ecem TETİK Doç. Dr. Hamdi ÖZKAN Dr. Öğr. Üyesi Doğukan DOYDUK
		4	KARADENİZ BÖLGESİ İÇİN ZİYARET PLANLAMASI: BİR OPTİMİZASYON MODELİ YAKLAŞIMI	Lisans Üstü Öğrenci Şevval DURUM Dr. Öğretim Üyesi Tuğrul BAYRAKTAR
		5	LOJİSTİK PERFORMANS ENDEKSİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ: DESTEK VEKTÖR REGRESYONU KULLANIMI	Lisans Üstü Öğrenci Şevval DURUM Dr. Öğretim Üyesi Tuğrul BAYRAKTAR
		6	THE EFFECTS OF ELECTRONIC MONITORING SYSTEMS ON EMPLOYEES: POST-PANDEMIC CALL CENTER EXPERIENCE	Nevra KAZANCI Esila SEZGİN Erçin Tevfik ÖZTUNCEL
		7	ÇAĞRI MERKEZLERİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMI İLE SÜREÇ İYİLEŞTİRME	Dr. Öğretim Üyesi Nevra KAZANCI Metin AKUŞ Mehmet Erdem ŞAMLI Halil Can Aydın Aslı Nur Yıldız

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Nattaporn Chaiyaporn**	1	A BIO-ECOLOGICAL PERSPECTIVE ON RISK AWARENESS AND SUBSTANCE USE FACTORS DURING PREGNANCY IN COMMUNITIES OF THE WESTERN CAPE, SOUTH AFRICA	Thabo Mbeki Lindiwe Nkosi Sipho Dlamini
		2	THE ROLE OF HUMAN BIAS IN DECISION MAKING WITHIN QUALITY	Dr. Camila Rojas Dr. Felipe Morales
		3	MANAGEMENT SYSTEMS AND LEAN METHODOLOGIES	Dr. Samuel Okoro
		4	EFFECTS OF TARGETED MOBILITY EXERCISES AND SPECIALIZED GAMES ON PSYCHOMOTOR AND FUNCTIONAL ABILITIES OF CHILDREN WITH INTELLECTUAL DISABILITIES UNDER 14 YEARS	Danielle Tremblay Jennifer Lee Raed Al-Hassan
		5	IMPACT OF DEEP LEARNING AND VIRTUAL ENVIRONMENTS ON PERSONALITY, LONELINESS, AND ONLINE FLOW EXPERIENCES	Dr. Anjali Patel Dr. Priya Nair
		6	CAREER COUNSELING PROGRAMS AND THEIR EFFECTS ON THE PSYCHOLOGICAL WELL-BEING OF FIRST-YEAR UNIVERSITY STUDENTS	Sheila Marie Gonzales
		7	ASSESSING HATE SCHEMAS IN PRISONERS DIAGNOSED WITH ANTISOCIAL PERSONALITY DISORDER (ASPD)	Assoc. Prof. Dr. Nattaporn Chaiyaporn
		8	MEDIA AND INFORMATION LITERACY (MIL) AMONG YOUTH IN THAILAND: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	Waralak Vongdoiwang Nattanun Siricharoen
		9	THE IMPACT OF OCCUPATIONAL STRESS ON QUALITY OF WORK LIFE IN E-WORKSPACE EMPLOYEES	Alireza Bahrami Ali Rezaei Jafar Hosseini Fatemeh Zandi

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Carlos Mendoza**	1	THE BROADER ADVANTAGES OF NEGOTIATIONS: AN AUSTRIAN PERSPECTIVE ON EDUCATIONAL LEADERSHIP AND TRADE UNIONS AS A 'POWER GAME'	Dr. Markus Gruber
		2	ENHANCING LISTENING COMPREHENSION FOR EFL PRE-INTERMEDIATE STUDENTS THROUGH A BLENDED LEARNING APPROACH	Dr. Layla Hassan
		3	ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING FIRST-YEAR ARCHITECTURE STUDENTS' PRODUCTIVITY	Sara Rahimi Nadia Alavi Omar Khalid
		4	STRATEGIC NETWORKS IN HIGHER EDUCATION: BALANCING EXCELLENCE AND QUANTITY	Assis. Prof. Mikael Nieminen
		5	DIVERSE ROLES OF MENTORS AND MENTEES IN E-LEARNING ENVIRONMENTS	Dr. Priya Nair
		6	ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT THROUGH TRANSFORMATIVE PEDAGOGIES IN HIGHER EDUCATION	Prof. Dr. Carlos Mendoza
		7	INNOVATION ALLIANCES IN HIGHER EDUCATION: STRATEGIC APPROACHES AND IMPACTS	Juha Nieminen
		8	USING COLLABORATIVE IMAGES TO UNDERSTAND STUDENT EXPERIENCE	Anna Johansson Emma Carter
		9	INCLUSION AND ALTERITY: THE EDUCATION OF ROMA PUPILS IN SLOVAKIA	Bibiana Hlebová
		10	IMPROVING TEACHING QUALITY IN THE CLASSROOM THROUGH META-TEACHING SKILLS	Shahlan Ahmad Dr. Saemah Rahman

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Jukka Laine**	1	CHARACTERISTICS OF COGNITIVE FUNCTIONS IN ADOLESCENTS WITH SPELLING DIFFICULTIES IN POLAND	Dr. Marta Kowalska
		2	THE INFLUENCE OF MASS MEDIA ON FEMALE BEAUTY STANDARDS: A CRITICAL ANALYSIS	Ji-Young Kim
		3	SELF-ESTEEM AND STRESS AMONG ADULTS WITH TRAUMATIC BRAIN INJURY ATTENDING REHABILITATION PROGRAMS	Assoc. Prof. Dr. Sarah Thompson
		4	CHALLENGES IN RESEARCHING RAPE MYTHS: CLINICAL AND METHODOLOGICAL PERSPECTIVES	Elena Ionescu Dr. Andrei Popa
		5	COGNITIVE BEHAVIORAL THERAPY FOR SOCIAL ANXIETY DISORDER: A CASE STUDY IN MALAYSIAN PSYCHOLOGY	Aisyah Binti Hassan Mohd Farid Bin Abdullah
		6	EXPERT TESTIMONY IN CASES OF BATTERED WOMAN SYNDROME: LEGAL AND PSYCHOLOGICAL INSIGHTS	Dr. Elena Ionescu
			FLASHBULB MEMORIES OF SIGNIFICANT EVENTS: THE WENCHUAN EARTHQUAKE AND UNIVERSITY ADMISSIONS	Wang Lei Chen Xi Zhao Ming
			COGNITIVE REPRESENTATIONS OF VALUES: EXPLORING THE INFORMATION CONTENT OF MENTAL MODELS	Assoc. Prof. Dr. Jukka Laine
			IMPLICIT METHODS FOR INVESTIGATING SOCIAL TOLERANCE	Olena Shevchenko
		7	DYNAMICS OF AGGRESSIVE BEHAVIOR IN RELATION TO REFLECTIVE COGNITIVE PROCESSES	Dr. Natalia Ivanova

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Min-Joon Park**	1	THE APPLICATION OF REAL OPTIONS IN CAPITAL BUDGETING DECISIONS	Dr. Kwame Mensah
		2	IMPACT OF GOVERNMENT EXPENDITURE ON PRIVATE CONSUMPTION AND ECONOMIC GROWTH: A CASE STUDY OF THAILAND	Somsak Chaiyaporn
		3	COMMUNITY-BASED FACILITY MANAGEMENT PERFORMANCE IN THE EDUCATIONAL SECTOR OF BATUBARA DISTRICT, INDONESIA	Dewi Anggraini Ahmad Fauzi Siti Nurhayati
		4	KEY ASPECTS OF COST CONTRIBUTION ARRANGEMENTS IN FINANCIAL MANAGEMENT	Dr. Jan Novak
		5	FORECASTING ECONOMIC CRISIS PERIODS USING ADAPTIVE NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEMS IN THE USA	Assoc. Prof. Michael Johnson
		6	INTEGRATING INDUSTRIAL DESIGN WITH ENGINEERING DESIGN PROCESSES	Hiroshi Nakamura Takeshi Yamamoto
			TEAM MEMBERS' ATTRIBUTIONS FOR TEAM OUTCOMES IN FINNISH WORKPLACES	Dr. Liisa Virtanen Pertti Laaksonen
			THE EFFECT OF CORPORATE GOVERNANCE AND TRANSPARENCY ON FOREIGN DIRECT INVESTMENT	Prof. Min-Joon Park
			SUCCESS FACTORS IN ERP IMPLEMENTATION IN IRAN: THE ROLE OF SYSTEM ENVIRONMENT	Saeed Mohammadi Ali Rezaei
		7	SOCIAL COMMERCE AND E-COMMERCE IN THE CONTEXT OF SOCIAL MEDIA	Emily Chan

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Rachel Evans**	1	FOOD SECURITY IN INDIA: AN ANALYSIS OF KANDI REGION IN PUNJAB	Dr. Priya Sharma Anita Singh
		2	APPLICATION OF DESIGN MANAGEMENT TO ENHANCE WORK ENVIRONMENT FOR WOMEN ACADEMICS IN SAUDI ARABIA	Fatimah Al-Harbi Dr. Emily Johnson Sarah Mitchell
		3	ENHANCING AFFORDABLE HOUSING THROUGH INCLUSIONARY ZONING IN TORONTO	Dr. Michael Thompson
		4	PRIORITIZING FOOD SAFETY CULTURE OVER TRADITIONAL FOOD SAFETY SYSTEMS IN SOUTH AFRICAN FOOD INDUSTRIES	Assoc. Prof. Dr. Thabo Mokoena
		5	EXPLORING CONFLICT, CONFUSION, AND CHOICE: A PHENOMENOLOGICAL STUDY OF CORRUPT PRACTICES	Dr. Rachel Evans
		6	STRATEGIC PLANNING FOR THE REDUCTION OF SOCIOECONOMIC INEQUALITIES IN VIDARBHA REGION, MAHARASHTRA, INDIA	Dr. Anjali Deshmukh Rajesh Kulkarni
		7	KAZAKHSTANI LITERATURE IN DIASPORA AND THE CONTRIBUTIONS OF MAZHIT AITBAYEV	Dr. Yerlan Bekturganov Ainur Zhanibekova Assist. Prof. Bauyrzhan Nurmagambetov
		8	CHARACTERISTICS OF ADHERING TO CUSTOMS AND TRADITIONS IN TURKESTAN DURING THE LATE 19TH AND EARLY 20TH CENTURIES	Gulnara Zhanatova Aruzhan Sadykova
		9	THE MASKS OF LIFE: OUR MULTIPLE IDENTITIES AND PRIVACY ISSUES	Dr. Laura Bennett

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Vincent Dupont**	1	TOWARDS AN UTAUT-BASED MODEL FOR EXAMINING E-GOVERNMENT CITIZEN ACCEPTANCE IN SAUDI ARABIA	Mohammed Al-Farsi Dr. Emily Johnson
		2	ANALYZING THE ASCENT OF NATIONALISM AMONG YOUTH IN SOUTH KOREA AND ITS RELATIONSHIP WITH DEMOCRACY	. Hana Lee Dr. Min-Jae Park
		3	EXPLORING THE INTERSECTION OF MIGRATION AND DURATION OF UNEMPLOYMENT: A CASE STUDY OF OECD COUNTRIES	Prof. Dr. Vincent Dupont
		4	EXPLORING DEIXIS AND PERSONALIZATION IN ADVERTISING SLOGANS	Anne-Marie Clarke
		5	AN OVERVIEW OF THE IMPERATIVE TO IMPLEMENT ENVIRONMENTAL ACCOUNTING EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT	Dr. Noor Al-Hassan
		6	NAVIGATING THROUGH CURRENT AND FUTURE TRENDS IN GREEN COMPUTING	Tariq Soomro Muhammad Sarwar
		7	HOW ELECTRONIC MARKETS HAVE ALTERED THE REACH-RICHNESS TRADEOFF ON THE INTERNET	Dr. Haroon Al-Tarawneh Sattam Allahawi

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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. Christian Utomo**	1	ECOLABELING AND GREEN CERTIFICATION FOR SUSTAINABLE FISHERIES MANAGEMENT: AN ANALYTICAL STUDY	Dr. Ravi Kumar
		2	ANALYZING E-LOYALTY IN ONLINE PURCHASES OF TRADITIONAL THAI HERBAL PRODUCTS	Nipaporn Chaiyaporn Siriluck Wongsa
		3	APPLICATION OF AUTO-REGRESSIVE NEURAL NETWORKS FOR GDP FORECASTING	Dr. Eleftherios Georgiou
		4	ADVANCES IN SOFTWARE RISK MANAGEMENT: A NOVEL SUPERVISION FRAMEWORK	Masoud Farahani
		5	ENHANCING SMOOTHING TRANSITION AUTO-REGRESSIVE MODELS WITH FUZZY MEMBERSHIP FUNCTIONS	Eleftherios Georgiou
		6	CRITICAL SUCCESS FACTORS FOR LARGE-SCALE ERP IMPLEMENTATION IN THAILAND	Eleftherios Georgiou
			A DISCRIMINATIVE REWARD MECHANISM FOR DETECTING SYBIL ATTACKS IN ANONYMITY NETWORKS	Siriluck Wongsa
			THE ROLE OF NEGOTIATION AGENTS IN VALUE-BASED DESIGN DECISION PROCESSES	Arjun Das Debashish Roy Sumit Banerjee
		7	GOVERNMENT EXPENDITURE AND ITS EFFECTS ON PRIVATE CONSUMPTION AND ECONOMIC ACTIVITY: EVIDENCE FROM THAILAND	Dr. Ahmad Idris Assoc. Prof. Dr. Christian Utomo

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assoc. Prof. Dr. Maha Al-Farouqi**	1	SOCIAL MEDIA IMPACT ON TRAVEL DECISIONS AMONG EASTERN EUROPEAN BACKPACKERS	Dr. Irina Vlasenko, Anatoly Rudenko
		2	INCLUSIVE WORKPLACE POLICIES IN FINANCIAL INSTITUTIONS: A GULF REGION OVERVIEW	Assoc. Prof. Dr. Maha Al-Farouqi
		3	DIGITAL NOTE-TAKING HABITS AMONG SECONDARY SCHOOL STUDENTS	Rachel Whitmore
		4	PARENTAL ROLES IN LANGUAGE DEVELOPMENT OF CHILDREN WITH SPECIAL NEEDS	Yun-Hwa Lin
		5	FACTORS SHAPING YOUTH CIVIC PARTICIPATION IN SOUTH ASIAN UNIVERSITIES	Lecturer Ranjit Subramanian
		6	THAI ENGLISH VARIATIONS IN ONLINE HOTEL REVIEWS	Siriporn Kongsuk
		7	CONSUMER BEHAVIOR OF UNIVERSITY STUDENTS IN LINE WITH BUDDHIST ECONOMIC VALUES	PhD candidate Anusorn Pradit
		8	INVESTIGATING COGNITIVE READING STRATEGIES AMONG ALGERIAN ESL GRADUATE STUDENTS	Huda Benamar, Faisal Rahimi
		9	CULTURAL SYMBOLISM IN HANDMADE SOUVENIR DEVELOPMENT FOR TOURISM	Assoc. Prof. Dr. Samira Khalil

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Prof. Dr. Giorgi Beridze**	1	EVALUATING ORGANIZATIONAL AGILITY AS A DRIVER OF DIGITAL TRANSFORMATION INITIATIVES	Dr. Danijela Markovic, Tomas Ivankovic
		2	A HYBRID GENETIC-BASED APPROACH FOR OPTIMIZING NONLINEAR ECONOMETRIC MODELS	Ms. Student Lina Bensalem Dr. Yassine Tazi, Dr. Hicham Ferhat
		3	THE INTERPLAY BETWEEN GLOBAL ENERGY DEMAND AND ALTERNATIVE ENERGY INVESTMENTS	Fahad Al-Mutairi
		4	IMPLEMENTING LEAN PRINCIPLES IN PUBLIC HEALTH SYSTEMS: A CASE STUDY FROM LATIN AMERICA	Assis. Prof. Dr. Camila Torres, Luis Fernando Ríos
		5	CHALLENGES IN THE ADOPTION OF INDUSTRY 4.0 PRACTICES AMONG SOUTH ASIAN MANUFACTURERS	Dr. Rakesh Nair
		6	STRENGTHENING COMMUNITY-BASED ECONOMIES THROUGH SUSTAINABLE LOCAL ENTERPRISES	Santoso, Dewi Lestari
		7	ANALYSIS OF STRATEGIC FAILURES IN INFRASTRUCTURE FIRMS DURING ECONOMIC DOWNTURNS	Prof. Dr. Giorgi Beridze
		8	INFLUENCE OF PERSONALITY TRAITS ON DIGITAL PURCHASE DECISIONS IN MILLENNIAL CONSUMERS	Javier Martinez Ortega

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
13 Haziran / June 13, 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	**Assoc. Prof. Dr. Richa Bansal**	1	COMPETENCY DEVELOPMENT IN SUPPLY MANAGEMENT: A CENTRAL EUROPEAN APPROACH	Dr. Lukas Schneider
		2	FRAMEWORK FOR IMPROVING INTERNAL AUDIT EFFECTIVENESS IN TRANSITIONAL ECONOMIES	Dr. Maryam Farzaneh, PhD Candidate Laleh Samimi, Mehdi Davani
		3	IMPACT OF PATENT POLICY ON INNOVATION PERFORMANCE IN INDIAN MANUFACTURING FIRMS	Assoc. Prof. Dr. Richa Bansal, Sandeep Sharma
		4	THE ROLE OF WORKPLACE TRUST, CULTURAL DIVERSITY, AND SELF-EFFICACY IN DIGITAL COMMUNICATION EFFECTIVENESS	Dr. Khalid Al-Mutairi
		5	FACTORS INFLUENCING VALUE RELEVANCE OF ACCOUNTING EARNINGS IN DEVELOPING CAPITAL MARKETS	Niloofar Tavakoli, Sara Rezaee
		6	INFORMATION SYSTEM FAILURES IN PUBLIC SECTOR ENTERPRISES: A GULF REGION PERSPECTIVE	Noora Al-Mansoori
		7	SUSTAINABLE SUPPLY NETWORK OPTIMIZATION UNDER UNCERTAINTY AND REGULATORY CONSTRAINTS	Fatema Al-Dabbous, Dr. Ahmad Al-Harbi, Tariq Al-Sabah
		8	ETHICAL LEADERSHIP AND GOVERNANCE CHALLENGES IN DIRECT SELLING ENTERPRISES	Rajesh Natarajan
		9	CORPORATE DISCLOSURE QUALITY AND INVESTOR DECISION-MAKING: EVIDENCE FROM A MIDDLE EASTERN CONTEXT	Samira Ebrahimi, Dr. Amir Daryanavard

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR **YÜZYÜZE**				
14 Haziran / June 14, 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	**Prof. Dr. Erkan Yüksel**	1	OKULLARDA ÇATIŞMA NEDENLERI SONUÇLARI VE ÇÖZÜM YÖNTEMLERI ÜZERİNE SISTEMATIK BIR DERLEME	Dr. Tuğçe KAÇAR
		2	İDEAL SAĞLIK HABERCİLİĞİ NASIL OLMALI?	Prof. Dr. Erkan Yüksel
		3	DİJİTAL GECE VARDİYASI: GECE SOSYAL MEDYA KULLANIMININ BİLİŞSEL VE DUYGUSAL ETKİLERİ ÜZERİNE NİTEL BİR İNCELEME	Prof. Dr. Erkan Yüksel
		4	THE EFFECT OF ACCEPTANCE AND COMMITMENT THERAPY BASED SELF- COMPASSAGE PSYCHOEDUCATION PROGRAM ON SELF-COMPASSAGE AND PSYCHOLOGICAL FLEXIBILITY OF NON-EMPLOYED PARENTS WITH CHILDREN AGED 4-6	Rumeysa ÇAPULACI Dr.Öğr. Üyesi Osman SÖNER
		5	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN PSİKOLOJİK SAĞLAMLIKLARININ YORDAYICISI OLARAK BİLİŞSEL KONTROL VE ESNEKLİK: BİR VAKIF ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ	Dr. Öğr. Üyesi Osman SÖNER
		6	METHODOLOGY FOR THE ORGANIZATION OF SELF-EDUCATION OF FUTURE TEACHERS IN HIGHER INSTITUTIONS	Assist. Prof. Dr. Aktolkun BORANBAYEVA Assylzhan KUMISBEK
		7	RUSYA UKRAYNA SAVAŞININ BÖLGENİN ENERJİ JEOPOLİTİĞİNDE VE ENERJİ GÜVENLİĞİNDE MEYDANA GETİRDİĞİ DEĞİŞİKLİKLERİN TÜRKİYE'YE ETKİLERİ	Güney YAĞCI
		8	DİLİNİ DİJİTALDE ÜRETEN ÖĞRENCİLER: SOSYAL MEDYA TABANLI ANA DİLİ EĞİTİMİ SÜRECİNDE TEMATİK DENEYİM ÇÖZÜMLEMESİ	Meral YILDIRIM Doç. Dr. Talat Aytan
		9	BİNALARDA YEŞİL DÖNÜŞÜM İÇİN ISI POMPASI SÜBVANSİYONLARI: ABD'DE ISI POMPASINA YÖNELİK UYGULAMALAR	Dr. Öğretim Üyesi Fatma YAPICI SAPANKAYA

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
June 13 - 15, 2025
IZMIR

YÜZYÜZE

14 Haziran / June 14, 2025 / 14:00 – 16:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ	1	THE DEVELOPMENT OF A SMART CAMPUS APPLICATION WITH NEXT-GENERATION INTERNET SOLUTIONS	Prof. Dr. Murat KOÇ Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ Doç. Dr. Tuğçe DEMİRDELEN Doç. Dr. Alper Kamil DEMİR Dr. Öğr. Üyesi Sedat BİLGİLİ Dr. Öğr. Üyesi Yonca BİR Dr. Ezgi EREN MSc Betül YÜKSEKBAŞ Çağın Berke İSPİR Ulaş Deniz ÇAKMAZEL
		2	A PRACTICAL APPROACH TO MONITORING TRUCK PERFORMANCE IN MINING	Dr. Furkan Kerem KASA Doç. Dr. Taşkın Deniz YILDIZ
		3	SINAV SİSTEMLERİNDE ETKİN KAYNAK KULLANIMI: MVC TABANLI BİR YAKLAŞIM	Osman Nuri ŞAKAR Prof. Dr. Vecihi YİĞİT
		4	Iğdır Yöresindeki sığırlarda Theileria spp'nin Nested-PCR yöntemi ile moleküler karakterizasyonu	Veteriner Hekim Müjde AVCİ Doç. Dr. Ayşe SONA KARAKUŞ
		5	RATIONAL DESIGN OF EPINECIDIN-1 VARIANTS, THEIR DISPLAY ON YEAST SURFACE AND IMPROVEMENT OF ANTIMICROBIAL ACTIVITY	Şuğra YÜCEER Lecturer,PhD Üyesi Sibel Kalyonu Uzunlar Prof. Dr. Hüsniye Tansel Yalçın
		6	AZOSPIRILLUM SPP. AS PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA: A REVIEW ON THEIR APPLICATION IN CUCUMBER AND TOMATO CULTIVATION	Karlygash Korazbekova Zhamila Baimirzayeva Zehra Nur Yüksekdağ
		7	IMPACT OF PSEUDOMONAS ISOLATES FROM SOUTHERN REGIONS OF KAZAKHSTAN ON THE BIOLOGICAL GROWTH OF TOMATO PLANTS	Zhamila Baimirzayeva Karlygash Korazbekova Zehra Nur Yüksekdağ
		8	YÜKSEK ENTROPİLİ ALAŞIM KATKILI POLİMER TABANLI GİYİLEBİLİR RADYASYON ZIRHLARININ GELİŞTİRİLMESİ	Türkan GÖÇER Doç. Dr. Esra KAVAZ PERİŞANOĞLU
		9	Development of DNA Aptamers for the FadA Protein of Fusobacterium nucleatum	Res. Asst. Dilan AKTAŞ Lect. Dr. Burhan BORA Prof. Dr. Serap EVRAN
		10	DEVELOPMENT OF DNA APTAMERS FOR RECOGNITION OF SESAME ALLERGEN PROTEIN	Zeliş YARAR Lecturer Dr. Burhan BORA Prof. Dr. Serap EVRAN
		11	SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SIR KOMPOZİSYONUNDA ALTERNATİF HAMMADDE KAYNAKLARININ KULLANIMI	İrem ALTINOK Beste BULTAN TUNA Sezer KULLUK Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Öğr. Gör. Dr. Pelin Suzan IŞIKOĞLU**	1	MUHASEBE DENETİMİNDE İÇ KONTROL SİSTEMİNİN ETKİSİ	Lutfiye Eylül TAŞTAN Dr. Öğr. Üyesi Ayşegül BAYRAKTAROĞLU GÜNER
		2	THE SCIENTIFIC CAPACITY BUILDING OF THE STATE: WAR ECONOMY, TECHNOLOGY POLICY AND DEVELOPMENT DYNAMICS IN TURKEY BETWEEN 1939 - 1945	Dr. Bahan Yenilmez Deniz Saygı
		3	AN INVESTİGATİON OF THE RELATİONSHİP BETWEEN ATTİTUDES TOWARD ARTİFİCİAL INTELLİGENCE AND THE LEVEL OF DİGİTAL AWARENESS: AN APPLİCATİON ON ACCOUNTİNG AND TAXATİON DEPARTMENT STUDENTS	Doç. Dr. Neşegül PARLAK Doç. Dr. Didem ÖZTÜRK ÇİFTCİ
		4	THE IMPACTS OF DIGITALIZATION ON GREEN PRODUCT EXPORTS	Yüksek Lisans Öğrencisi Begüm ERDEN Dr. Öğr. Fuat ÖZ
		5	THE POWER OF ARTİFİCİAL INTELLİGENCE: THE FUTURE OF RİSK MANAGEMENT İN BROKERAGE FİRMS	Prof.Dr. Halim KAZAN Mustafa Uğur BAYAR
		6	İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BAĞLAMINDA İŞ VE MESLEK DANIŞMANLARININ ÇALIŞMA HAYATINDA KARŞILAŞTIĞI SORUNLARIN ANALİZİ	Vatan CANTİMUR Doç. Dr. Alpaslan BAYRAKDAR
		7	TARIM SEKTÖRÜNDE DİJİTALLEŞME VE BEYAZ YAKALI EĞİTİMİN DÖNÜŞÜMÜ	Gülşah İNCEL
		8	AKTİF YAŞLANMA SÜRECİNDE YAŞLI İSTİHDAMININ SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ: İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ PERSPEKTİFİ	Öğr. Gör. Dr. Pelin Suzan IŞIKOĞLU

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dr. Öğr. Üyesi Hatike KOÇAR UZAN**	1	LİBERALİZMDE ÖZGÜRLÜK ANLAYIŞI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Öğr. Gör. Dr. Nadide ÇAKIROĞLU
		2	AN EXAMİNATİON OF TURKISH AND GREEK MIGRATION POLICIES WİTH RESPECT TO SYRIAN MIGRATION	Dr.. Öğr. Üyesi Umut Turgut YILDIRIM Arş. Gör. Sena ŞAHİN
		3	INSTITUTIONAL AND FUNCTIONAL ANALYSIS OF NATIONAL AND LOCAL IMPLEMENTERS OF MIGRATION POLICIES: DIRECTORATE GENERAL OF MIGRATION MANAGEMENT AND LOCAL GOVERNMENTS	Dr. Öğr. Üyesi Hatike KOÇAR UZAN
		4	SÜRDÜRÜLEBİLİR POLİTİKALAR BAĞLAMINDA ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNİN YEŞİL ORGANİZE SANAYİ BÖLGELERİNE DÖNÜŞÜMÜ	Hale GİRŞEN Dr. Öğr. Üyesi Şermin ATAK ÇOBANOĞLU
		5	YEREL YÖNETİMLERDE KATILIMCI DEMOKRASİ VE UYGULAMALARI: İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ ÖRNEĞİ	Yüksek Lisan Öğrencisi Lütfü HACIHÜSEYİNOĞLU
		6	BARTIN UNIVERSITY STUDENTS' AS A VOTER AFFECTING FACTORS BEHAVIOUR AND PREFERENCES	Merve Hande HATİPOĞLU Assoc. Prof. Dr. Salih ÇİFTÇİ
		7	THE ROLE OF POLITICAL SYSTEM ON GOOD GOVERNANCE IN THE FEDERAL GOVERMENT OF SOMALIA	Shukri Omar Ahmed Dr. Öğr. Üyesi ÖZGE ÖZ DÖM
		8	TEK PARTİ DÖNEMİ VE YEREL YÖNETİMLER (1923-1930)	DİDEM ÖZKAN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dr. Öğr. Üyesi Jülide Gül Erdem**	1	İDARE HUKUKUNDA YAPAY ZEKANIN ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Jülide Gül Erdem
		2	AVRUPA PARLAMENTOSU SEÇİMLERİ BAĞLAMINDA DEMOKRATİK MEŞRUİYET KRİZİ: KATILIM ARTIŞI DEMOKRASİ AÇIĞINI KAPATTI MI?	Dr. Arş. Gör. Ömer Vehip ÖNEN
		3	İSRAİLİN ULUSLARARASI YARDIM FAALİYETLERİNİ ENGELLEMESİNİN ULUSLARARASI HUKUK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. Arş. Gör. Ömer Vehip ÖNEN
		4	ORGAN VEYA DOKU TİCARETİ SUÇLARI BAĞLAMINDA HEKİMİN CEZAİ SORUMLULUĞUNA YÖNELİK DEĞERLENDİRMELERİMİZ	Aybüke GÜLEÇ
		5	LOCAL SPORTS POLICIES IN THE EUROPEAN UNION: A COMPARATIVE ANALYSIS WITH TURKEY	Zekeriya PALA
		6	A COMPARATIVE ANALYSIS OF PUBLIC EXPENDITURES ON AFGHAN AND SYRIAN MIGRANTS: AN EXAMINATION OF PUBLIC SERVICE CAPACITY	Prof. Dr. Erhan GÜMÜŞ Doktorant Mehmet Mert GÜLER

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Koray KARABULUT**	1	COOLING OF A STACKED UP CROWN PATTERNED ELEMENT ARRAYS BY MIXED CONVECTION CURRENTS WITH Al_2O_3 -WATER NANOFLUIDS	Koray KARABULUT Yeliz ALNAK
		2	ATIK SIKIŞTIRMA SİSTEMİ	HİLAL SEVGİLİ GÖKDENİZ KILIÇ FARUK YEĞİN MUSTAFA BUĞDAY
		3	RENKLİ MALZEME AYRIŞTIRMA SİSTEMİ İÇİN KONVEYÖR BANT TASARIMI	Halil Kaya Şanlı İdris Ak Muhammed Ferhat Akmeşe Mustafa Buğday
		4	New Generation Water Efficiency: Development of a 7 Liter Water Dishwasher	E&P Test Uzmanı, Onur TURHAN
		5	REDUCTION OF INTERNAL STRESSES OF ROLL-FORMED JOINT CLOSURES IN ALUMINUM SUSPENSION ARMS WITH FOCUS ON GEOMETRICAL PROPERTIES	Serhan ÖZDEĞER Prof. Dr. Çınar Emine YENİ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dr. Öğr. Üyesi Evren Osman ÇAKIROĞLU**	1	AHŞAP SÜSLEME TEKNİKLERİNİN CNC MAKİNASI KULLANILARAK CAMİ MEKANINDA UYGULANABİLİRLİĞİ	Dr. Öğr. Üyesi Evren Osman ÇAKIROĞLU
		2	BEYPAZARI TARİH VE KÜLTÜR MÜZESİ (NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI) MİMARİ ANALİZİ VE DÖNÜŞÜMÜ	Mimar Raşit YALÇIN Prof. Dr. Şule PFEİFFER-TAŞ
		3	ÇAĞDAŞ EKLERİN KÜLTÜREL HAFIZA VE MİMARİ ANLATI BAĞLAMINDA İNCELENMESİ: THE MUSEUM HOTEL ANTAKYA	Helin Roza ARAT Doç.Dr. Kader REYHAN
		4	YENİDEN İŞLEVLENDİRİLEN KAYSERİ LİSESİNİN PLAN KURGUSUNUN MEKAN DİZİM YÖNTEMİYLE İNCELENMESİ	Elif DAYI Doç. Dr. Ayça GÜLTEN Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN
		5	İÇ MEKÂN MOBİLYA DÜZENLEMELERİNİN ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN YURT ODASI TERCİHİNE ETKİSİNİN BELİRLENMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Tolga KUŞKUN Engin ERGİN
		6	Determination of Color Parameters in American Black Cherry (Prunus serotina Ehrh.) Wood Coated with Various Varnishes	Prof. Dr. Hüseyin PEKER Doç. Dr. Göksel ULAY Doç. Dr. Ümit AYATA
		7	Evaluation of Color Stability in Oriental Plane, Ayous, and American Walnut Wood Species through Steam Treatment	Prof. Dr. Hüseyin PEKER Doç. Dr. Göksel ULAY Doç. Dr. Ümit AYATA

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Öğretim Görevlisi Dr. Fzt. Melda BAŞER SEÇER**	1	THE EFFECTS OF VICARIOUS TRAUMA AND SECONDARY TRAUMATIC STRESS ON PSYCHIATRIC NURSES	Hayriye Ecem BABAOĞLU Doç. Dr., Arzu KOÇAK UYAROĞLU
		2	USE OF PHYSICAL ACTIVITY AND THERAPEUTIC APPROACHES IN SUBSTANCE ADDICTION TREATMENT	Graduate Student, Beyza KAYA Prof. Dr. Neslihan LÖK Prof. Dr. Sefa LÖK
		3	EFFECTS OF PHYSICAL ACTIVITY-BASED INTERVENTIONS ON ANXIETY AND STRESS IN MENTAL HEALTH PATIENTS	Graduate Student, Beyza KAYA Prof. Dr. Neslihan LÖK Prof. Dr. Sefa LÖK
		4	FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ÖĞRENCİLERİNİN YAŞLILARA YÖNELİK TUTUMLARI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER	Öğretim Görevlisi Dr. Fzt. Melda BAŞER SEÇER
		5	EVIDENCE-BASED PSYCHIATRIC NURSING INTERVENTIONS TO COMBAT BEHAVIORAL ADDICTION	Yuksek Lisans Öğr. Nihal YILDIRIM Doç. Dr., Arzu KOÇAK UYAROĞLU
		6	THE ROLE OF PHYSICAL ACTIVITY IN PSYCHIATRIC NURSING: A HOLISTIC APPROACH TO MENTAL HEALTH	Graduate Student,İsmailcan CABER Prof. Dr., Neslihan LÖK Prof. Dr., Sefa LÖK
		7	NURSING APPROACHES TO INCREASE EXERCISE MOTIVATION IN PSYCHIATRIC PATIENTS	Graduate Student,İsmailcan CABER Prof. Dr., Neslihan LÖK Prof. Dr., Sefa LÖK
		8	OBEZİTE VE EGZERSİZ	Batuhan KARADUMAN Prof. Dr. Sefa LÖK
		9	ANABOLİK ANDROJENİK STERODİLER VE YAN ETKİLERİ	Batuhan KARADUMAN Prof. Dr. Sefa LÖK

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Asist. Prof. Gökhan TAŞKIN**	1	DAKİKALARLA YARIŞIRKEN: ACİL SERVİSLERDE ULTRASONUN ETKINLİĞİ	Dr. Öğr. Üyesi Ramazan KIYAK Doç.Dr.Bahadır ÇAĞLAR Doç.Dr.Süha SERİN
		2	INNOVATIONS AND CURRENT APPROACHES IN INVASIVE INTERVENTIONS IN EMERGENCY DEPARTMENT	Asist. Prof. Gökhan TAŞKIN
		3	EVDE SAĞLIK HİZMETİ SUNAN SAĞLIK ÇALIŞANLARININ KARŞILAŞTIKLARI SORUNLAR: ELAZIĞ İLİ ÖRNEĞİ	Mualla Şevval FIRAT Öğr. Gör. Dr. Damla TOPÇU
		4	PALYATİF BAKIMA SERVİSİNDE YATAN HASTALARIN İLAÇ KULLANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ	Ecz. Umut ÖZDEMİR Uzm. Dr. Yeşim AYAÖZ Doç. Dr. Elif ERTUNA Dr. Öznur ALTIPARMAK Doç. Dr. Mehmet Zuhuri ARUN
		5	NURSING APPROACHES IN PATIENTS UNDERGOING RESPIRATORY SUPPORT: EVIDENCE-BASED PRACTICES	Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra KURT Prof. Dr. Feride TAŞKIN YILMAZ
		6	EVIDENCE-BASED NURSING PRACTICES IN NUTRITIONAL SUPPORT	Yüksek Lisans Öğrencisi Şeyma KURBAN Prof. Dr. Feride TAŞKIN YILMAZ
		7	AROMATHERAPY İN COMPLEMENTARY MEDİCİNE: A REVİEW OF ITS INTEGRATİON İNTO THE BİRTH PROCESS	Seçilnur ABDULOĞLU Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÇUVADAR
		8	PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL EFFECTS OF LOTUS BIRTH ON THE NEWBORN	Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÇUVADAR Ayşe Melike DÜZYER

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
June 13 - 15, 2025
IZMIR
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

15 Haziran / June 15, 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. Nejdet BİLGİ**	1	ATTACKS ON IZMIR IN WORLD WAR I	TUBA BAYKAL
		2	PATİNA KRALLIĞI'NIN ASUR İMPARATORLUĞU İLE EKONOMİK VE SİYASİ İLİŞKİLERİ: YAZILI KAYNAKLAR VE ARKEOLOJİK VERİLER IŞIĞINDA BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Pınar PINARCIK
		3	CASH AND REALTY WAQFS IN BITOLA (1700-1750)	Dr. Öğr. Üyesi Ümran KARADENİZ
		4	MONOPOLIZATION IN AGRICULTURE IN THE LAST PERIOD OF THE OTTOMAN EMPIRE: FIG PRODUCTION AND THE EXAMPLE OF SMYRNA FIG PACKERS LTD.	Doç. Dr. Meral BALCI Mehmet Şirin PİROL
		5	MANİSA'DA BİR 'ERMENİ ŞİRKET-İ FESADİYESİ' SORUŞTURMASI	Prof. Dr. Nejdet BİLGİ
		6	YEDİ ŞEHİRDE YEREL GAZETE SAHİBİ VASFİ BİLGE VE GAZETELERİ	Prof. Dr. Nejdet BİLGİ
		7	ZEKAİ APAYDIN'IN İKİNCİ MOSKOVA BÜYÜKELÇİLİĞİ (1935-1937)	Doç. Dr. Arzu BOY
		8	CİĞERDELEN BAŞLIKLI ROMANDA TARİHE BAĞLILIK	Doç. Dr. Arzu BOY Prof. Dr. Gökay DURMUŞ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Öğr. Gör. Begüm Buse SERTGÖZ Öğr. Gör. Dr. Armağan MACİT**	1	TECHNOLOGY-INDUCED STRESS (TECHNO-STRESS) AND AUTONOMOUS SYSTEMS: ADAPTATION OF AVIATION EMPLOYEES	Öğr. Gör. Begüm Buse SERTGÖZ Öğr. Gör. Dr. Armağan MACİT
		2	THE RELATİONSHİP BETWEEN AUTOMATİON AND SAFETY BEHAVİOR İN THE AVİATİON INDUSTRY: A LİTERATURE-BASED REVİEW	Öğr. Gör. Begüm Buse SERTGÖZ Öğr. Gör. Dr. Armağan MACİT
		3	THE POLITICAL ECONOMY OF CARBON-NEUTRAL AVIATION TARGETS: THE CASE OF TÜRKİYE	Lecturer Aydan SAVICI POLAT Furkan POLAT
		4	The Role of Emotional Intelligence in Innovative Behaviors of Organizational Actors within the 21st Century Paradigm	MEB İngilizce Öğretmeni Dudu GÜL Prof. Dr. Dilek DÖNMEZ POLAT
		5	ETİK LİDERLİK: BİBLİYOMETRİK ANALİZ	Zeynep ASAN Doç. Dr. Mustafa NAL
		6	STRATEJİK YÖNETİM: BİBLİYOMETRİK ÇALIŞMA	Zeynep ASAN Doç. Dr. Mustafa NAL
		7	HOW TO ENCOURAGE EMPLOYEE KNOWLEDGE SHARING BEHAVIOR: LINKING PERSON–ORGANIZATION FIT TO KNOWLEDGE SHARING BEHAVIOR THROUGH EMPLOYEE VOICE	Doç. Dr. Daimi KOÇAK Zübeyde YILDIRIM
		8	THE MEDIATING ROLE OF TRUST IN SUPERVISOR IN THE RELATIONSHIP BETWEEN TRANSFORMATIONAL LEADERSHIP AND COMPULSORY ORGANIZATIONAL CITIZENSHIP BEHAVIOR: A STUDY IN HEALTH SECTOR	Doç. Dr. Daimi KOÇAK Hatice Sümeyye Türker

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Olga Petrova**	1	USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS	Andrei Ionescu Mihai Popescu Elena Dumitrescu
		2	EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET	Assoc. Prof. Dr. Catarina Silva
		3	ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT	Rui Mendes
		4	APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES	Dr. Farhad Rahimi Assoc. Prof. Dr. Leila Mohammadi Giovanni Rossi
		5	CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY	Rajesh Kumar Vikram Singh Anil Mehta
		6	FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION	Mohamed Al-Farsi Fatima Al-Harthy
		7	OPTIMIZING CUSTOMER RELATIONSHIPS THROUGH SOCIAL NETWORK MANAGEMENT	Assoc. Prof. Dr. Chaiyaporn Srisuk Assoc. Prof. Dr. Nattapong Phromsuwan
		8	STRATEGIES FOR DETERMINING THE IDEAL ASSET STRUCTURE FOR A COMMERCIAL BANK	Dr. Olga Petrova
		9	SEGMENTATION OF STUDENTS INTERESTED IN STUDYING ABROAD THROUGH CLUSTER ANALYSIS	Lucia Novakova Petra Svobodova

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Aida Rahman**	1	WHEN ELUCIDATIONS LEAD TO MISINTERPRETATIONS: ANALYZING REPRESENTATIONS AND CONDENSATIONS	Assoc. Prof. Dr. Jonathan Meyer
		2	IMPLEMENTATION OF MICROSOFT TECHNOLOGIES IN ACADEMIC CURRICULA: A CASE STUDY	Lina Haddad Rania Al-Masri Regina Fernandez
		3	CYBERSPACE AS A PLATFORM TO PROMOTE TRADITIONAL DANCES IN INDONESIA	Dr. Dewi Kartika Fandy Tjiptono Suyoto
		4	FACTORS AFFECTING ECOLOGICAL MANAGEMENT PRACTICES IN MALAYSIAN HOSPITALITY INDUSTRY	Dr. Aida Rahman
		5	STRENGTHENING HUMAN RIGHTS GOVERNANCE: DEVELOPING INTERNATIONAL STANDARDS	Zaiton Samdin Kasimu Abdu Bakori Hamimah Hassan
		6	KEY SUCCESS FACTORS IN EXPATRIATION OF MALAYSIAN MULTINATIONAL CORPORATIONS	Helen P. Greatrex
		7	SUSTAINABLE TOURISM DEVELOPMENT AND THE ROLE OF KHARG AND KHARKO ISLANDS	Lecturer Senian Malie Oriah Akir
		8	THE AESTHETICS AND USABILITY OF MOBILE INTERFACE DESIGN	Maral Mohammadi
		9	A DESIGN FRAMEWORK FOR EVENT RECOMMENDATION IN LOW-LITERACY COMMUNITIES	Shafiq ur Rehman Jane-Lisa Coughlan

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dt . Tadatsugu Kitamoto**	1	CONVENTIONAL DESIGN AND SIMULATION OF AN URBAN HYBRID BUS	A. Khanipour, K. M. Ebrahimi, W. J. Seale
		2	AN EXPERT SYSTEM FOR CAR FAILURE DIAGNOSIS	Ahmad T. Al-Taani
		3	LIMIT CYCLE BEHAVIOUR OF A NEURAL CONTROLLER WITH DELAYED BANG-BANG FEEDBACK	Travis Wiens, Greg Schoenau, Rich Burton
		4	INTER-PHASE MAGNETIC COUPLING EFFECTS ON SENSORLESS SR MOTOR CONTROL	Assosc. Prof. Dr. . Mvungi
		5	T-DOF PI CONTROLLER DESIGN FOR A SPEED CONTROL OF INDUCTION MOTOR	Tianchai Suksri, Satean Tunyasrirut
		6	USING FUZZY CONTROLLER IN INDUCTION MOTOR SPEED CONTROL WITH CONSTANT FLUX	Hassan Baghgar Bostan Abad, Ali Yazdian Varjani, Taheri Asghar
		7	A METHOD FOR QUALITY INSPECTION OF MOTORS BY DETECTING ABNORMAL SOUND	Dt . Tadatsugu Kitamoto
		8	INDUSTRIAL COMPRESSOR ANTI-SURGE COMPUTER CONTROL	Ventzas Dimitrios, Petropoulos George
		9	DESIGN OF MOVING SLIDING SURFACES IN A VARIABLE STRUCTURE PLANT AND CHATTERING PHENOMENA	T.C. Manjunath

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dimitrios Papadopoulos Eleni Vassiliou**	1	OPTIMIZING GAS CONSUMPTION IN SPACE HEATERS WITH GAS BURNERS	Dr. Ahmed El-Sayed Mohamed Hassan
		2	DEVELOPMENT OF AN AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITIONING SYSTEM	Jin-Ho Park Min-Soo Lee
		3	A SUPERVISORY FRAMEWORK FOR STEPWISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS	Dimitrios Papadopoulos Eleni Vassiliou
		4	GEOMETRIC DESIGN OPTIMIZATION THROUGH COLLISION MINIMIZATION AND VISUALIZATION IN DYNAMIC PACKING	Lars Johansson Erik Svensson Magnus Lindberg
		5	FLEXIBLE HEURISTICS FOR RESOURCE-CONSTRAINED PROJECT SCHEDULING	Dr. Pavel Novak
		6	CLASSIC AND HEURISTIC METHODS IN ROBOT MOTION PLANNING: A CHRONOLOGICAL REVIEW	Saeid Farhadi Reza Mohammadi
		7	STRENGTH ANALYSIS OF STABILIZER FILLET WELDS UNDER MULTIAXIAL LOADING: EFFECTS OF FORCE, SIZE, AND RESIDUAL STRESS	Fatemeh Rahimi
		8	INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER DESIGN FOR VARIED ROAD SURFACES	Dr. Nkosinathi Dlamini Sipho Khumalo

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dr. Miloš Šeda**	1	OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER	Dr. Saead Negahdari, Davood Jalali Vahid
		2	DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER	Geun-Mo Kim, Young-Jae Ryoo
		3	A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS	Fotis N. Koumboulis, Maria P. Tzamtzi
		4	GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING	Johan Segeborn, Johan S. Carlson, Robert Bohlin, Rikard Söderberg
		5	FLEXIBLE HEURISTICS FOR PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES	Dr. Miloš Šeda
		6	CLASSIC AND HEURISTIC APPROACHES IN ROBOT MOTION PLANNING A CHRONOLOGICAL REVIEW	Ellips Masehian, Davoud Sedighizadeh
		7	STABILIZER FILLET WELD STRENGTH UNDER MULTIAXIAL LOADING (EFFECT OF FORCE, SIZE AND RESIDUAL STRESS)	Iman Hadipour, Javad Marzbanrad
		8	INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER FOR DIVERSE ROADSURFACES	Dr. Roozbeh Keshmiri, Alireza Mohamad Shahri

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Nassima Boumediou**	1	UNVEILING CHLOROBUTANOL'S ANTIMICROBIAL PROWESS: A SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND EFFICACY EVALUATION	Nazmul Mosaddik Ashik Huda, Abdul Awal,
		2	OPTIMIZING FUROSEMIDE DISPERSIBLE TABLETS FOR PEDIATRIC USE: A COMPREHENSIVE FORMULATION AND EVALUATION STUDY	Shafiqur Nabi, Rukhsana Shaheen, Mustofa Rahman
		3	UNVEILING THE ANTIFUNGAL POTENTIAL OF SOUTH AFRICAN MEDICINAL PLANTS: A TRADITIONAL KNOWLEDGE-GUIDED EXPLORATION	Nadia Bahdja, Thili Malha Zahoua Taoufik, Mourad Marzouk Hadjadj Mekacher
		4	NAVIGATING THE THERAPEUTIC LANDSCAPE OF TOXIC PLANTS: AN ETHNOBOTANICAL EXPLORATION OF TRADITIONAL MEDICINE PRACTICES IN TLEMCEN, ALGERIA	Assoc. Prof. Dr. Benaziz Dorbane,
		5	HARNESSING THE ANTIBACTERIAL POWER OF SILVER DIAMINE FLUORIDE IN FISSURE SEALANTS: A COMPREHENSIVE EVALUATION	Assis. Prof. Dr. S. Djeraba
		6	REPLICATING HUMAN SKIN WITH SHED SNAKE SKINS: DEVELOPMENT OF A NOVEL MODEL MEMBRANE FOR PERCUTANEOUS ABSORPTION RESEARCH	Dr. Elyebdri Asma, Soumia Addoun
		7	PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS	Assoc. Prof. Dr. Nassima Boumediou

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Ö Assoc. Prof. Dr. Magdalena Nowak**	1	OPTIMIZING NITROGEN MANAGEMENT IN AGRICULTURE: BALANCING FERTIGATION PRACTICES WITH SOIL MICROBIAL BIOSORPTION	Dr. Petra Novak Lukáš Dvořák Tomáš Havel Jan Svoboda
		2	ENHANCING NIGELLA SATIVA L. YIELD USING BIOFERTILIZERS AND ORGANIC MANURE: A COMPARATIVE STUDY	Dr. Pavel Horák Assoc. Prof. Dr. Karel Černý
		3	COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF OAT GRAINS	Dr. Amir Hossein Farhadi Dr. Zahra Mohammadi
		4	LEVERAGING AMBIENT INTELLIGENCE TO INNOVATE AGRICULTURAL PRACTICES: A SYSTEMATIC REVIEW	Assoc. Prof. Dr. Reza Khosravi
		5	PHYTOTOXIC EFFECTS OF LEAD ON PHYSIOLOGICAL TRAITS OF TWO BROAD BEAN (VICIA FABA) VARIETIES	Dr. Youssef Benali Dr. Samira El Amrani
		6	ASSESSING THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MAIZE YIELD AND ADAPTATION STRATEGIES IN NORTHEAST CHINA: A 30-YEAR STUDY	Dr. Li Wei Dr. Chen Xiaoming
		7	REVOLUTIONIZING AGRICULTURE THROUGH AMBIENT INTELLIGENCE: CURRENT TRENDS AND FUTURE PROSPECTS	Dr. Renata Kowalczyk Assoc. Prof. Dr. Magdalena Nowak

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Neslihan KILINÇ**	1	EFFECTS OF THE RUSSIA-UKRAINE WAR ON TÜRKİYE-UKRAINE FOREIGN TRADE	Barış ERÇİN Prof. Dr. C. Erdem HEPAKTAN
		2	The Impact of the Digital Economy on Tax Policies	Sezin Dargınoğlu Prof. Dr. C. Erdem Hepaktan
		3	UNABLE TO SECURE A PERMANENT POSITION: INVOLUNTARY ENGAGEMENT IN TEMPORARY EMPLOYMENT WITHIN THE TURKISH LABOR MARKET	Dr. Neslihan KILINÇ
		4	THE RELATIONSHIP BETWEEN R&D EXPENDITURES AND ECONOMIC GROWTH: AN ANALYSIS FOR 24 OECD COUNTRIES BETWEEN 1996 AND 2021	Yüksek Lisans Öğr. Mustafa Furkan BAŞTAK Prof. Dr. Ömer Selçuk EMSEN Arş. Gör. Kerem Fırat COŞKUN
		5	SEÇİLİ MAKRO İKTİSADİ DEĞİŞKENLERİN BIST INŞAAT ENDEKSİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Halil Sesler Doç. Dr. Asuman Oktayer
		6	BEŞERİ SERMAYEDE TEKNOLOJİK GELİŞMELER VE YAPAY ZEKÂ ARAÇLARININ ROLÜ	Tezli Yüksek Lisans Öğrenci/ Orhan DEMİR
		7	ÇEVRESEL DUYARLILIKLA YEREL BÜTÇELEME: İKLİM KRİZİNE KARŞI MALİ YAKLAŞIMLAR	Dr. Kadriye GÜL YÜCEL
		8	TR3 BÖLGESİNDE DERİN YOKSULLUĞA ETKİ EDEN FAKTÖRLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Doktora Öğrencisi Hazal Özlem GÜNEŞLİ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Ayşe YEŞİLAY**	1	FACILITATING EVIDENCE-BASED POLICY RESEARCH THROUGH KEY STAKEHOLDERS' ENGAGEMENT	Siti Nurhayati Khairatun
		2	FROM LOCAL TO TABLE: GASTRONOMIC VALUE OF AEGEAN HERBS AND MEDICINAL PLANTS	Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih TUNCER Yüksek Lisans Öğrencisi Nurgül SAVRANOĞLU Doç.Dr.İrfan YURT
		3	GASTRONOMİDE MİLLİ KÜLTÜR VE YEREL LEZZETİN İZİNDE: GELENEKSEL KONYA MUTFAĞI ÜZERİNE BİR İNCELEME	Ayşe YEŞİLAY Prof. Dr. İbrahim Gönen
		4	AN EVALUATION OF BULDAN'S (DENİZLİ) TOURISM POTENTIAL IN LINE WITH SUSTAINABLE DEVELOPMENT PRINCIPLES	YL Öğrencisi, Rabia ALPAY Doç. Dr. Cennet ŞANLI

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Arş. Gör. Devrim KALKAN**	1	X VE Z KUŞAKLARI ÇOCUKLARININ OYUN VE OYUNCAKLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	Hanife AKGÜL Sedef ÜNSAL SEYDOOĞULLARI Gülşah YILDIRIM
		2	DEĞER VE DEĞER OLUŞUMU: EVRENSEL DEĞERLERİN BARIŞ MANÇO ŞARKILARI KAPSAMINDA İNCELENMESİ	Hanife AKGÜL Sedef ÜNSAL SEYDOOĞULLARI Gülşah YILDIRIM
		3	TRAUMA AND ITS RELATIONAL IMPACT: A THEORETICAL ANALYSIS OF DYNAMICS WITHIN ROMANTIC RELATIONSHIPS	Doktora Öğrencisi Meliha KAHRAMAN ERKAN Prof. Dr. Fatma Ebru İKİZ
		4	KARANLIK ÜÇLÜ KİŞİLİK ÖZELLİKLERİNİN DUYGUSAL ZEKÂ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİ BELİRLEMEYE YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Çağla KAYNARCA Dr. Öğr. Üyesi Hilal BARAN
		5	UYKU KALİTESİNİ YORDAMADA SOSYAL MEDYANIN CAZİBESİ, SOSYAL ONAY İHTİYACI ve BEDEN ALGISI	Yüksek Lisans Öğrencisi Damla Görgülü Prof. Dr. Şerife Gonca Zeren
		6	ALGISAL VE GÖRSEL-MEKANSAL İŞLEVLERİN GELİŞİMİ	Arş. Gör. Devrim KALKAN
		7	YETİŞKİN BİREYLERDE EBEVEYNLEŞME VE OBSESİF İNANIŞLAR ARASINDAKİ İLİŞKİDE ŞEMALARIN ARACILIK ROLÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi Esma İKTİMUR Dr. Öğrt. Üyesi Tubanur BAYRAM KUZGUN
		8	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE SİGARAYA PSİKOLOJİK BAĞIMLILIĞIN YORDAYICISI OLARAK SİGARA BIRAKMA BAŞARISI ÖNGÖRÜSÜ	Mehmetcan ÖZTÜRK

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Mustafa TUNÇER**	1	THE RHETORIC OF SILENCE: THE COMMUNICATIVE POWER OF TACITNESS IN ARABIC AND ITS RHETORICAL FUNCTION IN THE QUR'AN	Dr. Öğr. Üyesi HÜSEYİN DURSUN
		2	THE BASIC ELEMENTS OF THE BELIEF OF HANĪFİSM IN THE CONTEXT OF THE QUR'AN	Doç. Dr. Mustafa TUNÇER
		3	ACCORDING TO THE QUR'AN, THE PROMINENT ISSUES IN THE ROLE- MODELING OF HZ. ABRAHAM	Doç. Dr. Mustafa TUNÇER
		4	EL-İTKAN FÎ ULÛMİ'L-KUR'ÂN TERCÜMELERİNİN DEĞERLENDİRMESİ	Dr. Arş. Görevlisi Hasan Can ATEŞ
		5	CÂSİYE SÛRESİ 18. ÂYET IŞIĞINDA DİYANET İŞLERİ BAŞKANLIĞININ ŞERİAT BEYANNÂMESİNE BAKIŞ	Dr. Arş. Görevlisi Hasan Can ATEŞ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Öğretim Görevlisi Serap DURMAZ**	1	BERTOLT BRECHT'İN, ARTURO UI KARAKTERİ YORUMU VE VERMEK İSTEDİĞİ MESAJ	Öğretim Görevlisi Serap DURMAZ
		2	TÜRK TİYATROSUNDA ÖNCÜ BİR SANATÇI, LALE ORALOĞLU	Öğretim Görevlisi Berfu Kalay
		3	Tarot Kartlarındaki İllüstratif Anlatım Türleri	Yüksek Lisans Öğrencisi İsmet DOĞRU
		4	THE EVOLVING ROLE OF PACKAGING: INNOVATIVE APPROACHES AND CONSUMER EXPERIENCE	Yüksek Lisans Öğrencisi Sabri Mert ARIK
		5	INFLUENCES OF TRADİTİONAL ARTS IN CONTEMPORARY KOREAN PACKİNG DESİGN	Yüksek Lisans Öğrencisi Melek SEZEN
		6	OSMANLI DÖNEMİNDE ERZURUM CAMİLERİ: MİMARİ ÖZELLİKLERİN KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ	Hakan OCAK
		7	A VIEW OF 18TH CENTURY TILE MAKING FROM ISTANBUL HEKIMOĞLU ALI PASHA MOSQUE	Dr. Dilek ÇAKIR
		8	YANILSAMA BAĞLAMINDA GÖLGENİN SANATTA KULLANIMI	Batuhan GÖRKER Dr. Öğr. Üyesi Altay ALDOĞAN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Fazilet TAŞDEMİR**	1	GENDER REPRESENTATIONS IN YOUTUBE KIDS: A CONTENT ANALYSIS	Büşra KAYA Prof. Dr. Ender DURUALP
		2	EXPLORING ANSWER PATTERNS IN THE ENGLISH PLACEMENT TEST THROUGH CONFIGURAL FREQUENCY ANALYSIS	Lect. Hüseyin ATASEVEN Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU Assoc. Prof. Dr. Fazilet TAŞDEMİR
		3	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN YAPAY ZEKÂNIN İNSANLARDAN ÇALAMAYACAĞI MESLEKLERE İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ	Lect. Hüseyin ATASEVEN Prof. Dr. Ömay ÇOKLUK BÖKEOĞLU Assoc. Prof. Dr. Fazilet TAŞDEMİR
		4	EXAMINATION OF PROPORTIONAL REASONING SKILLS OF SEVENTH AND EIGHTH GRADE STUDENTS IN TERMS OF SOME VARIABLES DURING THE PROBLEM SOLVING PROCESS	Yüksek Lisans Öğrencisi, Özge BARIN Prof. Dr. Kürşat YENİLMEZ
		5	SOSYAL BİLGİLER DERSİNDE YEREL COĞRAFYA ÖĞRETİMİNE DAİR SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETMENLERİNİN GÖRÜŞLERİ	Dr. Münevver YILDIRIM
		6	SOSYAL BİLGİLER ÖĞRETMENLERİNİN VATANSEVERLİK EĞİTİMİNE DAİR GÖRÜŞLERİ	Dr. Münevver YILDIRIM
		7	MATEMATİK EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKA ÇALIŞMALARININ BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	Yüksek Lisans Öğrencisi Tuba SOYTÜRK Dr. Öğretim Üyesi Elif AKDEMİR
		8	ÖĞRETMENLERİN MESLEKİ SORUNLARI KONUSUNDAKİ GÖRÜŞLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi,Şeyda DURMUŞ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Doç. Dr. İbrahim BOZACI**	1	LİMAN PAZARLAMASINDA SOSYAL MEDYANIN ÖNEMİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Halil İbrahim YONTAR
		2	A LITERATURE REVIEW ON THE RELATIONSHIP BETWEEN POLITICS AND CONSUMPTION AT THE INDIVIDUAL LEVEL	Doç. Dr. İbrahim BOZACI
		3	PRODUCT PLACEMENT AND MENTION IN MUSIC: EXAMPLES FROM TURKIYE	Doç. Dr. İbrahim BOZACI
		4	THE USE OF OLD AND NEW MEDIA COMMUNICATION TOOLS IN BUSINESSES: DIFFERENCES IN TERMS OF PURPOSE AND FORM OF USE	Master's Student Ayşenur ÖZKUL Ass. Prof. Dr. Ahmet AYDIN
		5	THE IMPACT OF ANTHROPOMORPHİC CHATBOTS ON CONSUMER TRUST: A SYSTEMATİC LİTERATURE REVİEW	MSc. Hakan ÇELİK Prof. Dr. Remzi ALTUNIŞIK
		6	ZİHNİN GİZLİ KODLARI: NÖROPAZARLAMA İLE TÜKETİCİYİ ETKİLEMENİN SIRLARI	Dr. Öğrt. Görv. Pınar COŞKUN
		7	TÜRK İŞLETMELERİNİN ULUSLARARASI FAALİYETLERİNDE KÜLTÜREL MESAFENİN ETKİSİ	Doktora Öğrencisi Ayhan ÖKSÜZ Prof. Dr. Ali Ender ALTUNOĞLU
		8	DUYGUSAL ZEKÂNIN SATIŞ SÜRECİNDEKİ ROLÜNE YÖNELİK NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Yüksek Lisans Öğrencisi Furkan ÇEKİN Dr. Öğr. Üyesi Fulya ÖZDEMİR

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Doç. Dr. Emre ÖZTÜRK**	1	POZİTİVİST SOSYOLOJİNİN ELEŞTİRİ GÜNDEMİ: AUGUSTE COMTE VE ÉMILE DURKHEIM'IN IMMANUEL KANT OKUMASI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Emre ÖZTÜRK
		2	GERÇEKÇİ OLMAYAN ÇATIŞMALAR HAYATIMIZI NASIL BELİRLER? KİŞİLER ARASI İLİŞKİLERDE BİR ETKİLEŞİM BİÇİMİ OLARAK ÇATIŞMA OLGUSUNA SOSYOLOJİK BİR YAKLAŞIM	Büşra Nur PUNAR
		3	MEKANSAL AYRIŞMA SORUNSALINA BULUNAN ÇÖZÜM: SOSYAL DAYANAKLI MAHALLE	Öğr.Gör.Dr. Rahime Çerçi
		4	YEMEK KÜLTÜRÜNÜN CİNSİYET PERSPEKTİFİYLE İNCELENMESİ	Nuran Şule ŞAFAK
		5	ENGELLİ BİREYLERİN KENT VATANDAŞLIK HAKLARI: ERİŞİLEBİLİRLİK VE MEKÂNSAL ADALETİN SOSYOLOJİK BİR ANALİZİ	Dr. Merve ÇETİN KILIÇ
		6	HENRİ LEFEBVRE'NİN KENT HAKKI YAKLAŞIMINA TEORİK BİR BAKIŞ	Dr. Merve ÇETİN KILIÇ
		7	YABANCI UYRUKLU ÖĞRENCİLERİN SOSYAL UYUMLARININ İNCELENMESİ	Sevdenur Öztürk

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Serkan KIRIKÇI**	1	GAZETECİLİKTE DUYGULAR ÜZERİNE DENEYİM AKTARIMI: GAZETECİ SOĞUKKANLI MI OLMALI?	Doktora Öğrencisi, Cansu Kılınçarslan Akyol
		2	INTEGRATED MARKETING COMMUNICATION AND DIGITAL TECHNOLOGIES FROM THE PERSPECTIVE OF SUSTAINABLE COMMUNICATION	Prof. Dr. Zekiye Beril AKINCI VURAL Doktorant Yasin HAYAL
		3	ALTERNATİF MEDYANIN EKONOMİ POLİTİĞİ-FİNANSAL YAPI ÜZERİNE İNCELEME	Araştırma Görevlisi Dr. Emine ARDUÇ KARA
		4	ULUSLARARASI LOBİCİLİK BAĞLAMINDA YUMUŞAK GÜÇ UYGULAMALARI: TÜRK İŞ BİRLİĞİ VE KOORDİNASYON AJANSININ FAALİYETLERİ AÇISINDAN BİR DEĞERLENDİRME	Dr. Serkan KIRIKÇI
		5	THE RECONSTRUCTION OF REALITY: SIMULATION THEORY AND 1980s SCIENCE FICTION CINEMA	Master's Student, Elif DEMİR Assoc. Prof. Haluk Arda OSKAY
		6	METAVERSE DÜNYASINDA SİYASAL İLETİŞİM: DİJİTAL ÇAĞIN YENİ BOYUTLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi Ceren ÇAKIROĞLU

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Assoc. Prof. Dr. Emily Carter**	1	ANALYSIS OF SOIL STABILIZATION TECHNIQUES USING ORGANIC ADDITIVES IN SEMI-ARID REGIONS	Dr. Fatima Zahra Dr. Karim Benali Dr. Amina El-Mansouri
		2	CLOUD-BASED DEVELOPMENT FRAMEWORKS FOR ADVANCED CONSTRUCTION MANAGEMENT SOFTWARE	Assoc. Prof. Dr. Min-Jae Park
		3	NUMERICAL MODELING OF ELECTROMAGNETIC FIELDS IN COMPLEX MATERIALS USING FINITE ELEMENT ANALYSIS	Assoc. Prof. Dr. Carlos Mendoza Dr. Lucia Fernandez
		4	THERMAL PERFORMANCE EVALUATION OF ECO-FRIENDLY INSULATION MATERIALS IN WOODEN BUILDINGS	Dr. Lars Jensen Mette Sørensen
		5	MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF SAFETY MANAGEMENT PRACTICES IN CONSTRUCTION PROJECTS	Wei Zhang Mei Lin
		6	STABILITY ENHANCEMENT OF FUNCTIONALLY GRADED COMPOSITE PIPES UNDER FLUID FLOW CONDITIONS	Nabil Haddad Leila Mansour
		7	STRUCTURAL OPTIMIZATION OF BRIDGE LAUNCHING SYSTEMS USING INCREMENTAL LAUNCHING METHODS	Dr. Jun Li Dr. Qiang Wu Dr. Fang Zhao
		8	EVALUATING ENVIRONMENTAL FOOTPRINTS THROUGH MATERIAL FLOW ANALYSIS IN MANUFACTURING INDUSTRIES	Assoc. Prof. Dr. Emily Carter
		9	SIMULATION OF SPRINGBACK EFFECTS IN ADVANCED HIGH-STRENGTH STEELS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Sipho Ndlovu Dr. Thabo Mbeki

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Mariam Syakirah Dr. Brenda Lawson**	1	SYNTHESIS OF MOLECULARLY IMPRINTED POLYMERS FOR SELECTIVE REMOVAL OF PHARMACEUTICAL CONTAMINANTS FROM WATER	Anna Müller Clara Schmidt
		2	REMOVAL OF PENTACHLOROPHENOL THROUGH COMBINED ADSORPTION AND BIODEGRADATION TECHNIQUES	Assoc. Prof. Dr. Nurul Huda Assoc. Prof. Dr. Faridah Hassan
		3	FORMULATION AND CHARACTERIZATION OF VAGINAL SUPPOSITORIES INCORPORATING PROBIOTIC LACTOBACILLUS STRAINS	Dr. Supaporn Chaiyaporn Nattaporn Srisuk
		4	EFFECT OF SERICIN CONCENTRATION ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF SILK-BASED FILMS	Dr. Asad Khan Dr. Mahmood Iqbal
		5	VALIDATION OF A NOVEL RP-HPLC METHOD WITH FLUORESCENT DETECTION FOR NORFLOXACIN ANALYSIS	Nattawut Charoensuk Phong Aramwit
		6	ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF PLUMERIA ALBA FLOWER EXTRACTS AGAINST PATHOGENIC BACTERIA	Dr. Mahmoud El-Sayed Dr. Ghulam Rasool
		7	PROACTIVE DETECTION OF FALSE POSITIVE ALERTS IN DRUG-DRUG INTERACTION SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Mariam Syakirah Dr. Brenda Lawson
		8	COMPARATIVE STUDY OF ANTIBACTERIAL EFFECTS OF ETHANOLIC AND ISOPROPYL HEXANE EXTRACTS OF GINGER (ZINGIBER OFFICINALE)	Dr. Hsuan-Ling Yang Dr. Yan-Jie Huang
		9	NEUROPROTECTIVE EFFECTS OF CLITORIA TERNATEA ROOT EXTRACT ON LEARNING AND MEMORY ENHANCEMENT	Dr. Tahereh Naji Dr. Mahsa Jassimi

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Andreas Papadopoulos**	1	CORPORATE GOVERNANCE STRUCTURES AND OVERLAPPING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC	Assis. Prof. Dr. Petr Svoboda
		2	THE INFLUENCE OF STAKEHOLDER COMMUNICATION STRATEGIES ON CONSUMERS' ACCEPTANCE AND FINANCIAL PERFORMANCE: IN THE CONTEXT OF THE FERTILIZER INDUSTRY IN MALAYSIA	Nurul Aisyah Binti Ahmad Siti Mariam Binti Ismail Lee Wei Ming
		3	EXAMINATION OF RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED	Kittipong Chaiyaporn Marek Kowalczyk
		4	ADDRESSING MONEY LAUNDERING IN THE BANKING INDUSTRY: INSIGHTS FROM THE MALAYSIAN EXPERIENCE	Azman Bin Ismail
		5	HYBRID ENERGY PROVISION WITH PREDOMINANTLY RENEWABLE CHOICE FOR SMALL INDUSTRIAL COMPLEX	Dr. Marko Petrovic Aleksandar Jovanovski
		6	STATISTICAL FORECASTING OF LIKELY DISTRESS IN NIGERIA'S BANKING SECTOR USING A NEURAL NETWORK APPROACH	**SECTOR USING A NEURAL NETWORK APPROACH** Prof. Dr. Chinedu Okeke
		7	EFFECTIVENESS IN URBAN ADMINISTRATION FOR THE SUSTAINABILITY AND COMPETITIVENESS OF A CITY: A CASE STUDY OF KUALA LUMPUR	Mohd Faizal Bin Hassan Nor Aini Binti Zainal
		8	AN INVESTIGATION OF A NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR FORECASTING GROWTH IN GROSS DOMESTIC PRODUCT	Assoc. Prof. Dr. Andreas Papadopoulos
		9	HAZARDS OF LATE PAYMENT IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION INDUSTRY	Dr. Lim Mei Ling Ahmad Faizal Bin Ismail

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. R. Rafiemanzelat**	1	EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION İN KABUL CITY, AFGHANISTAN	Ahmad Sharif Ahmadi Yoshitaka Kajita
		2	INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN, IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS	Assis. Prof. Dr. R. Rafiemanzelat
		3	RENEWED URBAN WATERFRONT: SPATIAL CONDITIONS OF A CONTEMPORARY URBAN SPACE TYPOLOGY	Assis. Prof. Dr. Beate Niemann, Fabian Pramel
		4	URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES	Philip Speranza
		5	PERFORMANCE EVALUATION OF A 'PRIORITY-CONTROLLED' INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION	Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba
		6	DISCUSSION ABOUT FREQUENT ADJUSTMENT OF URBAN MASTER PLANNING İN CHINA: A CASE STUDY OF CHANGSHOU DISTRICT, CHONGQING CITY	Sun Ailu Zhao Wanmin
		7	HYBRID LIVING: EMERGING OUT OF THE CRISES AND DIVISIONS	Yiorgos Hadjichristou

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Assoc. Prof. Dr. Siti Nurhaliza**	1	SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY	Dr. Anahit Petrosyan Dr. Vahan Grigoryan Dr. Aram Avetisyan
		2	PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS	Dr. Mariam Sargsyan Assoc. Prof. Dr. Lilit Hakobyan
		3	INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS	Dr. Rajesh Kumar Dr. Anil Sharma Lecturer Deepak Verma
		4	ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES	Assoc. Prof. Dr. Siti Nurhaliza
		5	FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING	Dr. Nguyen Van Minh PhD Candidate Tran Thi Hoa
		6	THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS	Assoc. Prof. Dr. Kittipong Chaiyaporn Dr. Niran Sorrachaitawat
		7	INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS	Siriporn Thongchai Chaiwat Srisawat

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Maryam Rafsanjani**	1	PERFORMANCE ENHANCEMENT OF MEMBRANE DİSTİLLATİON PROCESS İN FRUİT JUİCE CONCENTRATİON BY MEMBRANE SURFACE MODİFİCATİON	Samir K. Deshmukh, Mayur M. Tajane
		2	PRODUCTİON OF APRİCOT VİNEGAR USİNG AN ISOLATED ACETOBACTER STRAİN FROM IRANİAN APRİCOT	Keivan Beheshti Maal, Rasoul Shafiei, Noushin Kabiri
		3	EFFECT OF FERMENTATİON TİME ON XANTHAN GUM PRODUCTİON FROM SUGAR BEET MOLASSES	Marzieh Moosavi- Nasab, Safoora Pashangeh, Maryam Rafsanjani
		4	UTİLİZATİON JUİCE WASTES AS CORN REPLACEMENT İN THE BROİLER DİET	Yose Rizal, Maria Endo Mahata, Mira Andriani, Guoyao Wu
		5	SURVEY OF IMPACT OF PRODUCTİON AND ADOPTİON OF NANOCROPS ON FOOD SECURİTY	Sahar Dehyouri, Seyed Jamal Farajollah Hosseini
		6	SOUS VİDE PACKAGİNG TECHNOLOGY APPLİCATİON FOR SALAD WİTH MEAT İN MAYONNAİSE SHELF LİFE EXTENSİON	Vita Levkane, Sandra Muizniece-Brasava, Lija Dukalska
		7	INVESTİGATİON OF PHYSİCOCHEMİCAL PROPERTİES OF THE BACTERİAL CELLULOSE PRODUCED BY GLUCONACETOBACTER XYLİNUS FROM DATE SYRUP	Marzieh Moosavi-Nasab, Ali R. Yousefi

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Khalid Al-Mutairi**	1	COMPARATIVE ANALYSIS OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID PROFILE OF ELATERIOSPERMUM TAPOS, PALM OIL, AND SOYBEAN OIL	Nurul Aisyah Wei Jun Tan Azman Hassan
		2	EFFECTS OF NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES ON THE PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS	Siti Noor Aini Shanthi Rajan
		3	OPTIMIZATION OF PHENOLIC COMPOUND EXTRACTION FROM AVICENNIA MARINA USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY V. Lakshmi	V. Lakshmi Jamila Thompson R. Rajendran
		4	CHEMICAL AND BIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN FROM THE ASIR REGION	Assoc. Prof. Khalid Al-Mutairi
		5	EFFECTS OF DGAT1 AND BETA-KAPPA CASEIN GENOTYPES ON MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN CATTLE	Areej Al-Hassan Niran Duangchai Pongpat Mernkrathok
		6	CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARYING NACL CONCENTRATIONS: PARTICLE SIZE AND STRUCTURAL EVOLUTION	Rashid Hussain Claire Dupont Joël Scherrer
		7	DEVELOPMENT OF SAFE READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT USING IRRADIATION TECHNOLOGY	Pattama Ratana Pongtep Wilaiporn
		8	IMPACT OF PRETREATMENT METHODS ON PHENOLIC CONTENT, VITAMIN C, AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN DRIED DILL	Ruta Galoburda Zanda Krūma
		9	MOLECULAR MOBILITY CHARACTERIZATION OF WATER SPECIES IN FOODS USING VISUALIZATION TECHNIQUES	Dr. Yasuyuki Konishi Masayoshi Kobayashi

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Doçent Doktor Oğuzhan ÇARIKÇI**	1	MUHASEBE MESLEK MENSUPLARININ KİŞİ-İŞ UYUMU: AMPİRİK BİR ARAŞTIRMA	Doç. Dr. Özen AKÇAKANAT Dr. Öğr. Üyesi Şerife KILIÇARSLAN
		2	FİNANSAL TABLO MANİPÜLASYONLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: BİLANÇO MAKYAJLAMA	Doçent Doktor Oğuzhan ÇARIKÇI
		3	İŞLETMELERDE İÇ DENETİM SİSTEMİ İHTİYACI	Doçent Doktor Oğuzhan ÇARIKÇI
		4	GAYRİMENKUL SERTİFİKALARININ TÜRKİYE'DE DEPREM KAYNAKLI KENTSEL DÖNÜŞÜM FİNANSMANINDA UYGULANABİLİRLİĞİNE YÖNELİK ARAŞTIRMA	Doktora Öğrencisi Erinç Tan
		5	EVALUATING THE OMEGA RATIO AND SYNTHETIC RISK AND REWARD INDICATOR (SRRI): PERFORMANCE ANALYSIS OF ISLAMIC MUTUAL FUNDS IN TÜRKİYE	Lecturer Merve GÜRSOY Prof. Dr. Sinan AYTEKİN
		6	Evaluation of Excise Tax Revenues from Car Sales (2020-2022)	Research Assistant Furkan KILINÇ Prof. Dr. Zeynep ARIKAN
		7	Digital Transformation and Its Effects on The Banking Sector	Assist. Prof. Hatice Nur Germir

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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 Mehmet ACAR**	1	REMOVAL of COPPER from AQUEOUS SOLUTION by Mg BASED ALLOY	Ph.D. Nilüfer DANACI Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN Assistant Prof. Hakan YAYKAŞLI
		2	DEGRADATION of RHODAMINE B and METHYLENE BLUE by LIGHT ALLOY	Ph.D. Nilüfer DANACI Prof. Dr. Musa GÖĞEBAKAN Assistant Prof. Hakan YAYKAŞLI
		3	HADFIELD ÇELİKLERİNDE CR VE MO İLAVESİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ	Selim TOPÇU İsmail KANKAL Faruk ÖZTÜRK Mehmet UYSAL Uğur GÜROL
		4	SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMESİ OLARAK AHŞABIN KULLANIMI VE MODERN YAPI TEKNOLOJİLERİNDE YERİ	Hande BÜYÜKDERELİ Ferhat ÖZDEMİR
		5	ISIL İŞLEM SONUCU ORTAYA ÇIKAN ODUN KATRANININ ODUN PLASTİK KOMPOZİT ÜRETİMİNDE KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ACAR

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Assistant Professor Gülcan GENCER**	1	STATISTICAL ANALYSIS OF ENGAGEMENT METRICS IN VIDEO CONTENT RELATED TO ORAL AND MAXILLOFACIAL RADIOLOGY BASED ON CONTENT SOURCE	Dental Student Nurefşan ATEŞ Assistant Professor Gülcan GENCER Dental Student Havva Büşra AY Dental Student Azra KÜÇÜKAZAY Dental Student Ayşe Nur ÖZDEMİR Dental Student Meryem ALKAN Dental Student Hiranur ÇALIM Dental Student Rümeysa AKŞİT Dental Student Hatice DEMİR Dental Student Mine BİLGETEKİN Dental Student Furkan EFE Dental Student İremsu AKAR
		2	STATISTICAL ANALYSIS OF ENGAGEMENT METRICS IN PERIODONTOLOGY-RELATED VIDEO CONTENT BASED ON CONTENT SOURCE	Dental Student Merve ERTÜRKSOY Assistant Professor Gülcan GENCER Dental Student Selin Yudum GÜDEN Dental Student Müberra GÜLER Dental Student İrem Parlak Dental Student Zeynep Sude ERDOĞAN Dental Student Ata Kemal TÜRKYILMAZ Dental Student Sude Serpil SAVAŞ Dental Student Gaye KAPAN Dental Student Afife CÖNE Dental Student Buse Melek URTAÇ
		3	KARACİĞER TRANSPLANTASYONUNDA HIZLANDIRILMIŞ İYİLEŞME PROTOKOLLERİ KULLANIMI	Prof. Dr. Neziha KARABULUT Doktora Öğrencisi Beyzanur KIZILOĞLU AĞGÜL
		4	TOTAL DİZ PROTEZİ SONRASI MOBİL SAĞLIK UYGULAMALARININ ETKİLERİ	Prof. Dr. Neziha KARABULUT Doktora Öğrencisi Beyzanur KIZILOĞLU AĞGÜL
		5	YETİŞKİN BİREYLERDE ARALIKLI ORUÇ DİYETİNİN YAĞ KAYBI İLİŞKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Diyetisyen Faysal SİLİ
		6	INVESTIGATION OF EPIDERMAL GROWTH FACTOR RECEPTOR (EGFR) SERUM LEVELS IN PATIENTS WITH LUNG CANCER DIAGNOSIS	Dr. Fatma Tuba AKDENİZ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Prof. Dr. Emine Dilek TAYLAN**	1	WEB-BASED LEARNING MANAGEMENT PLATFORM DEVELOPMENT, ANALYSIS AND DESIGN: SOURCECLASSROOM	Umurcan Ali ERMAN Arslan Berk AYDIN Aslıhan KARATAŞ
		2	VERİ YOKSUNU ORTAMLARDA KENTSEL PLÜVİYAL SEL RİSKLERİNİN YÖNETİMİ İÇİN HAFİFLETİLMİŞ MODELLEME YAKLAŞIMLARI: GELİŞMEKTE OLAN ÜLKELER İÇİN KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE	Öğr. Gör. Dr. Leyla DERİN
		3	DALGACIK TABANLI MAKİNE ÖĞRENMESİ MODELLERİ İLE KONYA İLİ KURAKLIK ANALİZİ	Gülsün YILDIRIM Prof. Dr. Özlem TERZİ
		4	KÖPRÜÇAY İÇİN DERİN ÖĞRENME TEMELLİ AKIM TAHMİNİ: LSTM VE VAE-GAN YAKLAŞIMLARI	Prof. Dr. Özlem TERZİ Prof. Dr. Emine Dilek TAYLAN
		5	COMPARATIVE DROPOUT ANALYSIS OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES FOR MULTICLASS DETECTION ON CHEST X-RAY IMAGES	Asst. Prof. Dr., Ismail Irmakci
		6	COMPARISON OF DEEP LEARNING MODELS AND DROPOUT RATES ON COLORECTAL CANCER HISTOLOGY	Asst. Prof. Dr., Ismail Irmakci Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu
		7	DEEP LEARNING BASED PREDICTIVE MAINTENANCE USING SOUND DATA FROM DC AND BLDC MOTORS	Hatice Deniz GÖNCÜ Mehmet Uğur SOYDEMİR Savaş ŞAHİN
		8	LIQUID LEVEL CONTROL OF PROCESS CONTROL SETUP VIA TIA PORTAL WITH OPC UA AND SIMULINK MONITORING	Beray YILMAZ Mehmet Uğur SOYDEMİR Prof. Dr. Savaş ŞAHİN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Assoc. Prof. Alireza Hosseini**	1	Model-Based versus Data-Driven Models in Image Processing	Assoc. Prof. Alireza Hosseini
		2	Model-Based Image Processing: Variational Advances	Assoc. Prof. Alireza Hosseini
		3	A numerical scheme based on Taylor expansion with strong order of convergence 1 for RODEs	Minoo Kamrani
		4	Convergence of multi-step methods for Random Differential Equations with Wiener noise	Minoo Kamrani
		5	COMPARATIVE ANALYSIS OF ADVANCED APPROACHES IN PAM AGAINST PHISHING-BASED CYBERATTACKS	Kübra Nur CANBAY Osman Kaan KARS
		6	Existence of Solutions to Hadamard Fractional Boundary Value Problems	Doç.Dr.Erbil Çetin Özge Akçay

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dr. Gültekin Gürçay**	1	IMPORTANCE for WELFARE of EAR POSITION in RUMINANTS	Assoc.Prof.Dr.,Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ Assoc.Prof.Dr., Funda ERDOĞAN ATAÇ
		2	Green Production Technologies with AI-supported Water Footprint Optimization in Seafood 4.0	İrem Kılınç Berna Kılınç
		3	The Role of Sustainable Development Goals (SDGs) in Seafood 4.0	İrem Kılınç Berna Kılınç
		4	The Importance and Potential Risks of Nanotechnology in Veterinary Reproduction and Artificial Insemination Practices	Assoc. Prof. Dr. Saadet BELHAN

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Dr. Öğr. Üyesi Zerrin SERT**	1	SONDA ROKETİ AERODİNAMİĞİ ÜZERİNDE FARKLI TÜRBÜLANS MODELLERİNİN HAD YÖNTEMİYLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Ebru Sena ERGENÇ Doç. Dr. Özge ALTUN Dr. Öğr. Üyesi Zerrin SERT
		2	THERMAL PERFORMANCE IN HEAT SİNKS WITH PRISM FIN OF DIFFERENT CROSS SECTIONS	Semih Ümit ÖZKAN Doç. Dr. Özge ALTUN Dr. Öğr. Üyesi Zerrin SERT
		3	RÜZGAR SANTRALİ GENİŞLEME ALANI İÇİN MALİYET ANALİZİ: DATÇA SAHASI ÖRNEĞİ	Makine Mühendisi Doğan EREN Doç. Dr. Hakan KARAKAYA
		4	USABILITY OF WASTE COFFEE POWDERS AS REINFORCEMENT MATERIALS IN POLYMER MATRIX COMPOSITE MANUFACTURING	Kadir ASLAN Lokman YÜNLÜ Serkan ATEŞ
		5	MAKİNELERDE OTTO VE ATKINSON ÇEVRİMLERİNİN İNCELENMESİ	Buse KÖROĞLU

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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 Çağla Melisa KAYA YILDIZ**	1	DOĞAL TAŞKIN YÖNETİMİ VE TAŞKIN RİSKİ BİLEŞENLERİNİN BÜTÜNLEŞİK DEĞERLENDİRMESİ: KAVRAMSAL BİRLEŞTİRME YAKLAŞIMI	Dr. Öğretim Üyesi Çağla Melisa KAYA YILDIZ
		2	DESIGN OF A PROCESS CONTROL EXPERIMENTAL SETUP FOR TEMPERATURE CONTROL WITH PID CONTROLLER USING TIA PORTAL	Şaheste Berfin GENÇTOR Mehmet Uğur SOYDEMİR Savaş ŞAHİN
		3	CREATING LEAN PRODUCT DESIGN AND MANUFACURING PROCESSES THROUGH THE USE OF VARIANT MANAGEMENT IN PLM SYSTEMS	Sertaç AKAR Prof. Dr. Semih ÖTLEŞ
		4	INSUFFICIENT THREAD OVERLAP EFFECTS IN DYNAMIC & STATIC TESTS	Project Engineer Nebahat Turalı Project Engineer Kadir Danışmaz
		5	Kablo Sektöründe Yangına Dayanım Sınıflandırması için Derin Öğrenme Destekli Kayıp Veri Yönetimi	Öğretim Görevlisi Umut YAMAK Burak SEÇKİN Dr. Selin Ceren YAMAK Prof. Dr Yüksel TERZİ
		6	YAPAY ZEKA DESTEKLİ AKILLI BAĞ SULAMA PROJESİ	Prof. Dr. Mehmet Hilal ÖZCANHAN Öğrenci Vildan Çolak Öğrenci Deniz Katayıfçı Öğrenci Tuğrul Demirözer Öğrenci Mustafa Can Akıncı
		7	FABRİKA ÇALIŞANLARININ İŞ SAĞLIĞI OKURYAZARLIĞI DÜZEYLERİ İLE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YETERLİLİK ALGILARI ARASINDAKİ İLİŞKİ	Öğrenci Hatem ALRAGAB Öğrenci Elif YILDIRIM Öğrenci Merve KOTAN Arş. Gör. Esma AKGÜL

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Öğr. Gör. Büşra DEMİRDAĞ**	1	ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİK GÖSTEREN HEMOSTATİK JELLERİN HAZIRLANMASI ve IN VİTRO ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Emine Hilal ALTINTOP Didem ŞEN KARAMAN
		2	NARİNGENİN YÜKLÜ MESOPOROZ SİLİKA NANOTAŞIYICININ ÇÖZÜNÜR MİKROİĞNEYE ENTEGRE EDİLMESİ VE POLİKİSTİK OVER SENDROMU TEDAVİSİNE YÖNELİK İNCELEMELER	Ayşenur BAĞCIOĞLU Emine Hilal ALTINTOP Aylin KOÇ Didem ŞEN KARAMAN
		3	INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING CANCER SCREENING BEHAVIOR IN WOMEN	Assoc. Prof., Alime SELÇUK TOSUN Clinical Nurse Specialist, Elif Nisa KARA
		4	QUALITY OF LIFE IN ELDERLY INDIVIDUALS AND AN EXAMINATION OF THE INFLUENCING FACTORS	Assoc. Prof., Alime SELÇUK TOSUN Clinical Nurse Specialist, Elif Nisa KARA
		5	MENOPOZ DÖNEMİNDEKİ KADINLARDA SAĞLIK ANKSİYETESİ VE SİBERKONDRİ	Yüksek Lisans Öğr. Hemşire Çiğdem UÇAN Dr.Öğr.Üyesi Figen ÇAVUŞOĞLU
		6	EVALUATION OF SOCIAL SUPPORT PROGRAMS ON LONELINESS AND SOCIAL ISOLATİION IN OLDER ADULTS	Öğr. Gör. Büşra DEMİRDAĞ Doç. Dr. Alime Selçuk TOSUN
		7	HS/GC/FID CİHAZI İLE TAM KANDA KANTİTATİF METANOL ANALİZİ METOD VALİDASYONU	Aynur TUNCER Doç.Dr. Kadir TURHAN
		8	TOXICOGENETIC ANALYSIS OF SOD1 rs36232792 VARIANT AND ANTIOXIDANT ENZYME LEVELS IN METHAMPHETAMINE USERS	Sercan POLAT Meltem TEPE Assoc. Prof. Dr. Selin ÖZKAN-KOTİLOĞLU Assoc. Prof. Dr. Özlem DOĞAN Dr. Mustafa DANIŞMAN Prof. Dr. Dilek AKYÜZLÜ

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Suman Sharma**	1	SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS	Emma Grigoryan, Ashot Khachatryan, Karapet Flora Avjyan Savchenko,
		2	PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS	Dr. Stepan Arakelova, Assis. Prof. Dr. Lilia Arsenyan
		3	INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS	Dr. Sunil Kamboj, Dr. Vipin Saini, Lecture GauravBala,
		4	ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES	Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma
		5	FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING	Dr. Bedi Neayti Singh Phd. Candidate Balvinder Thakur,
		6	THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS	Assis. Prof. Dr. Rathapon Dr.Sorrachaitawatwong, Nardauma Pouthai
		7	INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS	Sirijit Tipchuwong, Chayanid Asasutjarit

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Lucas Pereira**	1	FACTORS INFLUENCING PRE-WEANING GROWTH TRAITS IN SARDINIAN LAMBS	Dr. Sofia Ricci Assoc. Prof. Elena Bianchi
		2	INVESTIGATING THE HERITABILITY OF MILK PRODUCTION TRAITS IN CAPE GOATS	Thabo Mbeki Sipho Dlamini Lindiwe Nkosi Zanele Mthembu
		3	DUAL PHARMACOLOGICAL EFFECTS OF ERGOT DERIVATIVES: ANTICOAGULANT AND NEUROPROTECTIVE ACTIONS OF ERGOTAMINE	Dr. João Silva Dr. Ana Marques Dr. Catarina Fernandes
		4	UTILIZING PUMPKIN WASTE AS A NOVEL FEED ADDITIVE FOR IMPROVED ANIMAL NUTRITION	Dr. Narin Chaiyaporn Lecturer Dr. Somchai Phanich Assoc. Prof. Dr. Kanya Thongchai
		5	IMPROVING EGG PRODUCTION IN OLDER LAYING HENS THROUGH DIETARY GINGER SUPPLEMENTATION	Prapaporn Srisuk Surachai Kanjanapong
		6	EFFECTS OF HERBAL SEEDS SUPPLEMENTATION ON GROWTH AND BIOCHEMICAL PARAMETERS IN BROILER CHICKENS	Maria Lopez Carlos Fernandez
		7	ENHANCING THE MECHANICAL PROPERTIES OF POLYMER COMPOSITES VIA NANOPARTICLE ADDITION: A SYSTEMATIC REVIEW	Assoc. Prof. Dr. Lucas Pereira
		8	EFFECTS OF TRICHODINIASIS ON HISTOPATHOLOGY AND GROWTH PERFORMANCE OF FARMED RAINBOW TROUT (ONCORHYNCHUS MYKISS) IN WESTERN IRAN	Dr. Fatemeh Rahimi Dr. Mohammad Hosseini

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Prof. Dr. Leila Farhadi**	1	A COMPARATIVE ANALYSIS OF SVM-BASED CRITERIA IN EVOLUTIONARY METHODS FOR GENE SELECTION AND MICROARRAY DATA CLASSIFICATION	Dr. Rajiv Kumar Dr. Kenji Nakamura
		2	EFFICACY OF SELECTED OIL-BLENDED PLANT EXTRACTS AGAINST AFRICAN CATFISH PESTS: DERMESTES MACULATUS AND NECROBIA RUFIPES	Assoc. Prof. Dr. Chinedu Okeke
		3	IMMUNOGENIC ADHESIN VIBRIO ALGINOLYTICUS 49 KDA: ITS ROLE IN MOLECULAR EXPRESSION OF MHC ON RECEPTORS OF HUMPBACK GROUPER CROMILEPTES ALTIVELIS	Dr. Putu Arya
		4	IDENTIFICATION, CHARACTERIZATION, AND PRODUCTION OF PHYTASE FROM ENDOPHYTIC FUNGI	Siti Nurhaliza Rina Dewi Nina Kusuma Gita Pratiwi
		5	PETIOLE AND LEAF EXPLANTS OF PURPLE FAN FLOWER (SCAEVOLA AEMULA R. BR. CV. 'PURPLE FANFARE'): DIRECT AND INDIRECT SOMATIC EMBRYOGENESIS	Dr. Ananya Sharma
		6	MOLECULAR BASIS OF HELICOBACTER PYLORI DNAK RESISTANCE TO ANTIMICROBIAL PEPTIDE PYRRHOCORICIN	Dr. Farah Naz Dr. Elena Petrova
		7	MICROBIAL COMMUNITIES OF AMMONIA-OXIDIZING ARCHAEA AND BACTERIA IN ENRICHED NITRIFYING ACTIVATED SLUDGE	Dr. Nattapong Chaiyasit Dr. Somchai Wongsa
		8	BIOMIMETIC COATING SURFACE DERIVED FROM HUMAN ELASTIN TO SUPPORT CELL GROWTH	Dr. Antonella Rossi
		9	OCCURRENCE AND PARASITE-HOST RELATIONSHIP OF LIGULA INTESTINALIS IN SATTARKHAN LAKE (EAST AZERBAIJAN, IRAN): A FIELD REPORT	Prof. Dr. Leila Farhadi
		10	VOCALIZATION IN SOOTY-HEADED BULBUL (PYCNONOTUS AURIGASTER): ASPECTS OF COMMUNICATION	Dr. Surachai Phanich

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira,**	1	USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS	Phd .Reza Sigari Tabrizi, Dr. Yeap Peik Foong, Nazli Ebrahimi
		2	EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET	Ioan Popa, Radu Lupu, Cristiana Tudor
		3	ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT	Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira, Filipa Vieira
		4	APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES	Dr. Omid Jadidi, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Firouzi, Enzo Bagliery
		5	CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY	Ajay Gupta, Arvind Bhardwaj, Arun Kanda
		6	FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION	Dahir A. Ga'al, Wardah Zainal Abidin
		7	OPTIMIZING CUSTOMER RELATIONSHIPS THROUGH SOCIAL NETWORK MANAGEMENT	Assis. Prof. Dr. Srisawas Siriporn, Assis. Prof. Dr. Rotchanakitumnuai Siriluck
		8	STRATEGIES FOR DETERMINING THE IDEAL ASSET STRUCTURE FOR A COMMERCIAL BANK	Dr. Svetlana Saksonova
		1		

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Assoc. Prof. Dr. Diah Tri Wulandari**	1	ALTERATIONS IN BEHAVIOR AND LEARNING CAPACITY OF LEAD-EXPOSED RATS	Dr. Fatima Hassan Assoc. Prof. Khaled El-Sayed
		2	EFFECTS OF COPPER AND ZINC DEFICIENCY ON MILK PRODUCTION PERFORMANCE OF DAIRY COWS IN NORTHEASTERN ROMANIA	Ioana Popescu Mihai Ionescu Elena Dumitrescu
		3	IN VIVO AVIAN T-LYMPHOCYTE MITOGENS: TUBERCULIN, TETANUS IMMUNOGLOBULIN, AND DPT VACCINE	Mohammed Al-Saleh
		4	OPTIMAL TIMING FOR COLOSTRUM IMMUNOGLOBULIN (IgG) INTAKE IN NEWBORN CAMEL CALVES IN RELATION TO CORTISOL AND THYROXIN LEVELS	Aisha Abdalla Omar El-Tayeb Hassan Al-Haj
		5	SUPPLEMENTATION OF GOAT MILK FRACTIONS: EFFECTS ON SERUM IgE RESPONSE AND LEUKOCYTE COUNTS IN DINITROCHLOROBENZENE-SENSITIZED RATS	Nurhayati Sari Eka Harmani
		6	EMBRYO TRANSFER AS AN ASSISTED REPRODUCTIVE TECHNOLOGY IN FARM ANIMALS	Assoc. Prof. Dr. Diah Tri Wulandari
		7	IMPROVING SEMEN QUALITY AND STORAGE OF ROOSTERS' SEMEN BY ADDING OLIVE OIL TO DILUENTS	Hazim J. Al-Mansouri
		8	EFFECTS OF RAW FIBER CONCENTRATE FEEDING ON GROWTH AND BLOOD METABOLITES OF SUCKLING HOLSTEIN CALVES	Mehdi Dehghan Farid Niazi Mohsen Ghiasi
		9	COMPARISON OF THREE PROBIOTICS ON SUCRASE ACTIVITY IN SMALL INTESTINE MUCOSA OF BROILER CHICKS	Fazlollah Mousavi Zhila Motamedi

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Youssef Mansour**	1	LATERAL TORSIONAL BUCKLING OF STEEL THIN-WALLED BEAMS WITH LATERAL RESTRAINTS	Dr. Marek Novak Dr. Petr Svoboda
		2	ANALYSIS OF CAUSAL FACTORS LEADING TO POOR CONSTRUCTION SITE SAFETY: A MULTI-PERSPECTIVE APPROACH	Dr. Wei Zhang Dr. Jing Liu
		3	ADVANCES IN CARBON FIBER PRODUCTION FROM POLYACRYLONITRILE PRECURSORS AND THEIR INDUSTRIAL APPLICATIONS	Dr. Amir Hossein Farhadi Dr. Reza Mohammadi
		4	DEVELOPMENT OF BIM SOFTWARE UTILIZING CLOUD COMPUTING ENVIRONMENTS: METHODOLOGICAL STUDY	Dr. Seung-Ho Park
		5	TORSIONAL PERFORMANCE OF STEEL FIBER-REINFORCED HIGH-STRENGTH SELF-COMPACTING CONCRETE BEAMS WITH GFRP REINFORCEMENT	Dr. Khaled El-Sayed Dr. Ahmed Hassan
		6	BENEFITS OF USING LARGE DIAMETER STRANDS IN PRECAST AND PRESTRESSED CONCRETE FOR HIGHWAY INFRASTRUCTURE	Dr. Youssef Mansour
		7	MULTIPATH ROUTING IN SENSOR NETWORKS FOR DETECTING CRACKS IN METALLIC STRUCTURES USING FUZZY LOGIC	Dr. Arjun Das Dr. Ramesh Patel
		8	EVALUATION OF EXPLOSION WAVE IMPACTS ON OFFICE AND RESIDENTIAL BUILDINGS: A STRUCTURAL ANALYSIS	Dr. Mehran Azizi Dr. Amin Hosseini
		9	INFLUENCE OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON THE RELEASE KINETICS OF EXTENDED-RELEASE GLICLAZIDE FORMULATIONS	Dr. Amit Singh Dr. Peeyush Verma Dr. Anil Sharma

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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. Michael Lissack**	1	WHEN ELUCIDATIONS "INDUCE" MISTAKES: AN EXAMINATION OF DEPICTIONS AND COMPRESSSIONS	Assoc. Prof. Dr. Michael Lissack
		2	IMPLEMENTATION OF MICROSOFT TECHNOLOGIES IN COURSEWORK – AN INSTANCE STUDY	Lilac Al Safadi, Rana Abu Nafesa, Regina Garcia
		3	CYBERSPACE: A NOVEL MEDIUM TO ADVANCE TRADITIONAL DANCES IN INDONESIA PERSIAN BAZAARS: THE DEMONSTRATION OF STABLE IDEAS	Dr. Maria Satya Rani, Fandy Tjiptono, Suyoto
		4	ELEMENTS INFLUENCING ECOLOGICAL MANAGEMENT PRACTICES AMONG HOTELS IN MALAYSIA	Dr. Aida Amirazodi
		5	RESILIENT HUMAN RIGHTS GOVERNANCE: FORMULATING INTERNATIONAL STANDARDS	Zaiton Samdin, Kasimu Abdu Bakori, Hamimah Hassan
			DETERMINANTS FOR TRIUMPH IN EXPATRIATION OF MALAYSIAN INTERNATIONAL CORPORATIONS	Helen P. Greatrex
		6	SUSTAINABLE TOURISM, EXPANSION, ALONG WITH PREDOMINANT FUNCTION OF KHARK (KHARG) AND KHARKO ISLANDS	LEC. Senian Malie, Oriah Akir

EGE 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES June 13 - 15, 2025 IZMIR Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
15 Haziran / June 15, 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	**Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sayed**	1	PSO-DRIVEN OPTIMIZATION FOR DISTRIBUTION NETWORKS INCORPORATING DISTRIBUTED GENERATION	Dr. Farid Alavi Dr. Reza Mohammadi
		2	THREE-PHASE HIGH-FREQUENCY AC-DC CONVERTER WITH DUAL-MODE PWM/PDM CONTROL FOR INDUSTRIAL HEATING APPLICATIONS	Nabil Hassan
		3	ADVANCED MAXIMUM POWER POINT TRACKING TECHNIQUE FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Ahmed El-Sayed
		4	IMPULSE RESPONSE SHORTENING IN MULTITONE DISCRETE TRANSMITTERS USING CONVEX OPTIMIZATION	Ejaz Ullah Conor O'Donnell
		5	HYBRID ASSOCIATION CONTROL AND LOAD BALANCING STRATEGIES FOR WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS	Dr. Nattaporn Chaiyaporn Dr. Arisa Jintawet
		6	PROBABILITY ESTIMATION OF BROADCAST IN WIRELESS AD HOC NETWORKS	Dr. Bharath Kumar Sunita Venkatesh
		7	THEORETICAL CAPACITY ANALYSIS OF DYNAMIC SPATIAL MULTIPLEXING MIMO SYSTEMS	Imen Ben Ali Noureddine Hamdi
		8	DEVELOPMENT AND APPLICATION OF FIBER-OPTIC SENSORS FOR INDUSTRIAL MONITORING	Bahareh Gholami Hooman Nabavi
		9	SPECTROPHOTOMETRIC DETERMINATION OF TRACE RUTHENIUM(III) USING RHODAMINE B IN MICELLAR MEDIUM: KINETIC STUDY	Assoc. Prof. Mohsen Keyvani

Contents

AN ALTERNATIVE MODEL TO INTEGRATE BEES INTO OUR SOCIAL LIFE: URBAN BEEKEEPING 1

NATURE'S SUPERFOOD BEE BREAD (PERGA) AND ITS UNIQUE PROPERTIES 7

UNIQUE IMPORTANCE IN THE WORLD HONEY TRADE; TURKISH PINE HONEYDEW HONEY 15

NEW APPROACHES ON VALUE-ADDED BEE PRODUCTS; WHOLE BEE (PODMORE), BEE DRONE LARVAE (APILARNIL) AND BEE HIVE AIR APPLICATIONS 20

VAN İLİNDEKİ HAYVANCILIK DESTEKLERİNİN TÜRKİYE İÇERİSİNDEKİ DURUMUNUN İNCELENMESİ 28

ŞANLIURFA İLİ CEYLANPINAR İLÇESİ VE MARDİN İLİ KIZILTEPE İLÇESİ BÖLGELERİNDE PAMUK EKİM DURUMU VE PAMUK HASAT MEKANİZASYON SORUNLARI 42

ÇİNKO OKSİT PARÇACIKLARI İLE SODYUM BOR HİDRÜRDEN HİDROJEN ÜRETİMİ 55

YANMA SENTEZİ İLE BORÜR SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ 61

KARBOTERMİK YÖNTEMLE İLE BORÜR SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ 67

ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ KULLANARAK ELDE EDİLEN NANOFİBER KAPLAMALARIN AM50 ALAŞIMININ KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİ 73

ELEKTROSİPİNNİNG YÖNTEMİ KULLANILARAK ESANSİYEL YAĞLARIN ENKAPSÜLASYONU 82

VIRTUAL WATER AND WATER RESOURCES MANAGEMENT: PERSPECTIVE VIEWS AND WAY FORWARD 88

ALGAE AND ESSENTIAL FATTY ACIDS: A RICH BIOLOGICAL RESOURCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENHANCED PRODUCT PRODUCTIVITY 99

RADIAL GROWTH VARIABILITY AND CLIMATE RESPONSE OF TWO *PINUS HALEPENSIS* AFFORESTATIONS FROM CENTRAL ALBANIA 107

TÜRKİYE'DE KİŞİ BAŞINA TÜKETİLEN YUMURTA SAYISI İLE TOPLAM YUMURTA YEMİ ÜRETİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİSİ 118

TARIMDA BİYOSTİMÜLANLARIN ROLÜ 127

NAR (*Punica granatum* L.) MEYVELERİNDE GÖRÜLEN ÖNEMLİ FUNGAL HASTALIK ETMENLERİ VE ALTERNATİF MÜCADELE YÖNTEMLERİ 135

ISI ADALARI VE KENT TARIMI: KENTSEL ALANLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİ 142

TÜRKİYE'NİN ANTEP FISTIĞI TİCARETİNDE ULUSLARARASI REKABET GÜCÜNÜN ANALİZİ 152

THE EFFECTS OF BACK PAIN ON DISABILITY IN NURSES WORKING IN HOSPITALS. A CROSS-SECTIONAL STUDY 161

BİTLİS İLİNDE GELENEKSEL BESLENME ALIŞKANLIKLARI VE MİDE KANSERİ RİSKİ 168

NUCK KANAL KİSTİ OLGU SUNUMU 173

PROTECTIVE EFFECT OF CHITOSAN FILM COATINGS IN FOOD 178

NOVEL STRATEGIES FOR FAT REDUCTION IN FOOD PRODUCTS 186

GLUTENSİZ TARHANA ÜRETİMİNDE AMARANT (*Amaranthus* L.) UNU KULLANIMI 200

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE UYGULANAN KURUTMA YÖNTEMLERİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ 206

BİSKÜVİLERDE AMARANT UNUNUN AKRİLAMİD OLUŞUMUNA ETKİSİ 216

THE EFFECT OF AMARANTH FLOUR ON ACRYLAMIDE FORMATION 217

IN BISCUITS 217

ATIKTAN SAĞLIĞA: KERATİN 231

CHANGING LANDSCAPES TO THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE IN URBAN AREAS 239

Urban Microclimate Modeling with ENVI-met: A Review on Green Infrastructure and Climate-Responsive Urban Design..... 247

YAPAY ZEKÂNIN TASARIM EĞİTİMİ VE PEYZAJ MİMARLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ..... 258

PANDEMİK ZORLUKLAR VE KENTSEL AÇIK MEKAN KULLANIMI 269

GELENEKSEL YERLEŞMELER VE BİYOFİLİK TASARIM 282

GELENEKSEL ANADOLU KONUT MİMARİSİ, YAPAY ZEKA VE GÜNCEL YORUMLAR 307

ŞEHİR İÇİ YAYA KALDIRIMLARINDA HİZMET DÜZEYLERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ 338

HİBRİT FRP-ÇELİK DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ 348

BATI KARADENİZ BÖLGESİ'NDE METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ: SYİ VE RUN TEORİSİ YAKLAŞIMI .. 358

SİNYALİZE KAVŞAKLARDA FARKLI AĞIR ARAÇ ORANLARININ ÇEVRESEL ETKİLERE YANSIMASI: SİMÜLASYON TABANLI BİR DEĞERLENDİRME 367

ORTALAMA KAYMA DALGASI HIZININ BELİRLENMESİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDEKİ ROLÜ..... 379

DÜZCE İLİ İMARA ESAS YERLEŞİM ALANLARINDA SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN SPT VERİLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ..... 385

EDİRNE-İPSALA ÖRNEĞİNDE ZEMİN SIVILAŞMA RİSKİNİN TBDY 2018 KAPSAMINDA İNCELENMESİ 404

INVESTIGATION OF THE REFLECTION PROPERTIES OF TE-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES FROM MULTILAYER DIELECTRIC FILMS 416

A CLUTTER-FREE MONOSTATIC ISAC MODEL: POWER EFFICIENCY AND TRADE-OFF BETWEEN SENSING AND COMMUNICATION 426

ENHANCING SOLAR PV PANEL PERFORMANCE: A REVIEW OF THERMAL MANAGEMENT, MATERIAL INNOVATIONS AND ANTI-SOILING TECHNIQUES..... 434

PRINTING THE GREEN FUTURE: A REVIEW ON THE ROLE OF 3D PRINTED ELECTRODES IN GREEN HYDROGEN 447

ÇİFT YÜZEYLİ SABİT PV PANEL SAHASINDA AGRİVOLTAİK SİSTEMİN TARIM VE ENERJİ ÜRETİMİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: VAN İLİ ÖRNEĞİ..... 463

KALDIRIK OTUNDAN (*TRACHYSTEMON ORİENTALİS*) PROTEİN İZOLATI ELDESİ ve ELDE EDİLEN İZOLATIN BAZI YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ 480

ÜZÜM KABUĞU ANTOSİYANİNLERİ VE BİTKİSEL PROTEİNLER ARASINDAKİ BAĞLAMA KAPASİTESİNİN ARAŞTIRILMASI 488

BCM-7: OLUŞUMU VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ..... 504

ULTRA İŞLENMİŞ GIDALAR: GIDA İŞLEME VE FORMÜLASYON DEĞERLENDİRMESİ 515

ALTERNATİF PROTEİN KAYNAKLARININ ENDÜSTRİLEŞMESİNDE AŞILMASI GEREKEN ZORLUKLAR..... 538

KARADENİZ BÖLGESİ İÇİN ZİYARET PLANLAMASI: BİR OPTİMİZASYON MODELİ YAKLAŞIMI 556

LOJİSTİK PERFORMANS ENDEKSİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ: DESTEK VEKTÖR REGRESYONU KULLANIMI 565

ÇAĞRI MERKEZLERİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMI İLE SÜREÇ İYİLEŞTİRME 574

THE EFFECTS OF ELECTRONIC MONITORING SYSTEMS ON EMPLOYEES: POST-PANDEMIC CALL CENTER EXPERIENCE 586

SINAV SİSTEMLERİNDE ETKİN KAYNAK KULLANIMI: MVC TABANLI BİR YAKLAŞIM 602

IMPACT OF PSEUDOMONAS ISOLATES FROM SOUTHERN REGIONS OF KAZAKHSTAN ON THE BIOLOGICAL GROWTH OF TOMATO PLANTS 616

Azospirillum spp. as PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA: A REVIEW ON THEIR APPLICATION IN CUCUMBER AND TOMATO CULTIVATION 628

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SIR KOMPOZİSYONUNDA ALTERNATİF HAMMADDE KAYNAKLARININ KULLANIMI 640

Al_2O_3-SU NANOAKIŞKANLI KARIŞIK TAŞINIM AKIMLARIYLA ÜST ÜSTE SIRALANMIŞ TAÇ DESENLİ ELEMAN DİZİSİNİN SOĞUTULMASI 649

ATIK SIKIŞTIRMA SİSTEMİ 667

RENKLİ MALZEME AYRIŞTIRMA SİSTEMİ İÇİN KONVEYÖR BANT TASARIMI 672

YENI NESIL SU VERIMLILIĞI: 7 LITRE SU ILE ÇALIŞAN BULAŞIK MAKINESI GELIŞTIRME PROJESI 676

REDUCTION OF INTERNAL STRESSES OF ROLL-FORMED JOINT CLOSURES IN ALUMINUM SUSPENSION ARMS WITH FOCUS ON GEOMETRICAL PROPERTIES 683

AHŞAP SÜSLEME TEKNİKLERİNİN CNC MAKİNASI KULLANILARAK CAMİ MEKANINDA UYGULANABİLİRLİĞİ 701

BEYPAZARI TARİH VE KÜLTÜR MÜZESİ (NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI) MİMARİ ANALİZİ VE DÖNÜŞÜMÜ 717

Çeşitli vernikler ile verniklenmiş Amerikan kara kiraz (*Prunus serotina* Ehrh.) ahşabında renk parametrelerinin tespit edilmesi 742

Su Buharı İşlemi ile Doğu Çınarı, Ayous ve Amerikan Cevizi Odun Türlerinde Renk Stabilitesinin Değerlendirilmesi 751

ÜSTLENİLMİŞ TRAVMA VE İKİNCİL TRAVMATİK STRESİN PSİKİYATRİ HEMŞİRELERİNE ETKİLERİ 764

FİZİKSEL AKTİVİTE TEMELLİ MÜDAHALELERİN RUH SAĞLIĞI HASTALARINDA KAYGI VE STRES ÜZERİNDEKİ ETKİSİ 777

MADDE BAĞIMLILIĞI TEDAVİSİNDE FİZİKSEL AKTİVİTENİN KULLANIMI VE TERAPÖTİK YAKLAŞIMLAR . 784

FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ÖĞRENCİLERİNİN YAŞLILARA YÖNELİK TUTUMLARI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER 790

PSİKİYATRİ HASTALARINDA EGZERSİZ MOTİVASYONUNU ARTIRMADA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI 802

PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNDE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ROLÜ: RUH SAĞLIĞINA BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM 808

OBEZİTE VE EGZERSİZ 813

ANABOLİK ANDROJENİK STERODİLER VE YAN ETKİLERİ 826

BESLENME DESTEĞİNDE KANITA DAYALI HEMŞİRELİK UYGULAMALARI 841

SOLUNUM DESTEĞİ UYGULANAN HASTALARDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI: KANITA DAYALI UYGULAMALAR 851

LOTUS DOĞUMUNUN YENİDOĞAN ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE PSİKOLOJİK ETKİLERİ 863

TAMAMLAYICI TIPTA AROMATERAPİ: DOĞUM SÜRECİNE ENTEGRASYONU ÜZERİNE BİR İNCELEME .. 871

REMOVAL of COPPER from AQUEOUS SOLUTION by Mg BASED ALLOY 883

EFFECT OF MO AND CR ADDITIONS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH-MN STEELS UNDER INDUSTRIAL HEAT TREATMENT CONDITIONS 899

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMESİ OLARAK AHŞABIN KULLANIMI VE MODERN YAPI TEKNOLOJİLERİNDE YERİ 909

KARACİĞER TRANSPLANTASYONUNDA HIZLANDIRILMIŞ İYİLEŞME PROTOKOLLERİ KULLANIMI 918

KONYA PROVINCE DROUGHT ANALYSIS WITH WAVELET-BASED MACHINE LEARNING MODELS..... 934

KÖPRÜÇAY İÇİN DERİN ÖĞRENME TEMELLİ AKIM TAHMİNİ: 948

LSTM VE VAE-GAN YAKLAŞIMLARI..... 948

COMPARISON OF DEEP LEARNING MODELS AND DROPOUT RATES ON COLORECTAL CANCER HISTOLOGY..... 961

COMPARATIVE DROPOUT ANALYSIS OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES FOR MULTICLASS DETECTION ON CHEST X-RAY IMAGES 970

DEEP LEARNING BASED PREDICTIVE MAINTENANCE USING SOUND DATA FROM DC AND BLDC MOTORS 979

LIQUID LEVEL CONTROL OF PROCESS CONTROL SETUP VIA TIA PORTAL WITH OPC UA AND SIMULINK MONITORING..... 991

RUMİNANTLARDA KULAK POZİSYONLARININ REFAH AÇISINDAN ÖNEMİ 1002

THE ROLE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGS) IN SEAFOOD 4.0 1015

GREEN PRODUCTION TECHNOLOGIES WITH AI-SUPPORTED WATER FOOTPRINT OPTIMIZATION IN SEAFOOD 4.0..... 1025

SONDA ROKETİ AERODİNAMİĞİ ÜZERİNDE FARKLI TÜRBÜLANS MODELLERİNİN HAD YÖNTEMİYLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ 1035

FARKLI KESİTLERE SAHİP PRİZMA KANATÇIKLI ISI ALICILARDA TERMAL PERFORMANS 1050

MAKİNELERDE OTTO VE ATKINSON ÇEVRİMLERİNİN İNCELENMESİ 1063

DESIGN OF A PROCESS CONTROL EXPERIMENTAL SETUP FOR TEMPERATURE CONTROL WITH PID CONTROLLER USING TIA PORTAL 1073

KABLO SEKTÖRÜNDE YANGINA DAYANIM SINIFLANDIRMASI İÇİN DERİN ÖĞRENME DESTEKLİ KAYIP VERİ YÖNETİMİ..... 1087

YAPAY ZEKA DESTEKLİ AKILLI BAĞ SULAMA PROJESİ..... 1096

FABRİKA ÇALIŞANLARININ İŞ SAĞLIĞI OKURYAZARLIĞI DÜZEYLERİ İLE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YETERLİLİK ALGILARI ARASINDAKİ İLİŞKİ..... 1101

ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİK GÖSTEREN HEMOSTATİK JELLERİN HAZIRLANMASI VE *İN VİTRO* ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ..... 1112

NARİNGENİN YÜKLÜ MESOPOROZ SİLİKA NANOTAŞIYICININ ÇÖZÜNÜR MİKROİĞNEYE ENTEGRE EDİLMESİ VE POLİKİSTİK OVER SENDROMU TEDAVİSİNE YÖNELİK İNCELEMELER..... 1129

QUALITY OF LIFE IN OLDER ADULTS AND AN EXAMINATION OF THE INFLUENCING FACTORS..... 1147

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING CANCER SCREENING BEHAVIOR IN WOMEN..... 1153

MENOPOZ DÖNEMİNDEKİ KADINLARDA SAĞLIK ANKSİYETESİ VE SİBERKONDRİ 1162

EVALUATION OF SOCIAL SUPPORT PROGRAMS ON LONELINESS AND SOCIAL ISOLATION IN OLDER ADULTS..... 1174

TOXICOGENETIC ANALYSIS OF *SOD1* rs36232792 VARIANT AND ANTIOXIDANT ENZYME LEVELS IN METHAMPHETAMINE USERS 1183

DAVRANIŞSAL BAĞIMLILIKLA MÜCADELEDE KANITA DAYALI PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİ MÜDAHALELERİ 1193

AN ALTERNATIVE MODEL TO INTEGRATE BEES INTO OUR SOCIAL LIFE: URBAN BEEKEEPING

Dr. Ekin VAROL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4382-5427
Prof. Dr. Banu YÜCEL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
banu.yucel@ege.edu.tr - ORCID: ID0000-0003-4911-7720

ABSTRACT

Urban beekeeping has emerged as an innovative and sustainable practice addressing some of the critical challenges modern cities face, including biodiversity loss, environmental awareness and food security.

Urban beekeeping is the practice of keeping and maintaining bee colonies in cities and urban areas, rather than in traditional rural or agricultural settings. It typically involves placing beehives on rooftops, balconies, community gardens, or other small green spaces within urban environments. The main purpose of urban beekeeping is to support pollinator populations - especially honeybees- which are essential for pollinating plants, including many of the fruits, vegetables, and flowers grown in urban settings. Interestingly, many urban environments can be surprisingly good habitats for bees. Cities often have a wide variety of flowering plants available over long periods, less pesticide use compared to some rural areas, and a relatively mild microclimate due to the urban heat island effect. However, urban beekeeping also comes with challenges, such as limited space for hives, potential conflicts with neighbors, and the need for careful management to ensure bee health and minimize risks to people. Despite its importance, urban beekeeping is not fully known in our country. However, developing urban beekeeping is important for several environmental, social, and economic reasons.

Urban beekeeping could be a way to support pollinator populations, enhance urban biodiversity, promote local and healthy food production, raise environmental awareness, cultural preservation, create economic and social opportunities with encouraging sustainable cities. Besides, by ingesting harmful ions in the air, bees provide negative ions to the environment and contribute to cleaning the air.

Considering Türkiye's rich biodiversity, suitable climate and strong beekeeping tradition, urban beekeeping will also contribute to improving the environment in growing and polluted cities. By integrating traditional beekeeping knowledge with modern urban sustainability initiatives, Türkiye has the potential to become a leader in urban apiculture, fostering greener and more resilient cities.

Key words: Urban beekeeping, sustainability, ecosystem, environment-friendly

AN ALTERNATIVE MODEL TO INTEGRATE BEES INTO OUR SOCIAL LIFE: URBAN BEEKEEPING

Introduction

In recent years, increasing awareness of environmental issues and the critical role of pollinators in ecosystem sustainability have led to a growing interest in alternative models of beekeeping. Urban beekeeping, the practice of maintaining bee colonies within city environments, has emerged as a promising approach not only to support declining bee populations but also to reconnect people with nature in urban settings. This innovative model offers multiple benefits, including enhanced biodiversity, local honey production, and educational opportunities for city dwellers. As such, urban beekeeping represents a meaningful step toward integrating bees into our social life and fostering a more sustainable urban future.

Urban Beekeeping

Urban beekeeping involves keeping bees in urban areas, presenting risks to wild insect pollinators, but also offering benefits such as increased food production and improved air quality (1) It involves keeping honey bees in urban areas due to the presence of more flowering plant diversity and lower risk of pesticides and parasites with producing richer honey and greater yields than in rural areas (2,3). While urban beekeeping has distinct goals than large-scale professional or commercial beekeeping, it has grown in popularity. Urban beekeeping, which is less concerned with making money, fosters environmental awareness, encourages urban greening, and offers worthwhile educational opportunities (4).

Practicing Urban Beekeeping

Starting urban beekeeping involves a mix of research, preparation, and legal awareness. In order to start this profession, it is necessary to take a number of courses and seminars. Considering that a person who has lived in the city will not have much experience in beekeeping, thus it is important to learn many things about the hobby from the very beginning. Urban beekeeping includes hive management, queen installation, recordkeeping, and human-bee interactions (5).

Rooftops and backyards are the preferred locations for beehive placements in Turkey; it is recommended to confine beehives to these areas. Beehives placed at ground level should be in a quiet area away from foot traffic and free of human activity and animals. Areas and other locations that can be accessed safely, easily and regularly should be selected. For rooftop placement, beehives should be placed in an area that is resistant to high winds and can support the weight of the beehive(s) and the beekeeper, Figure 1.



Figure 1. Beekeping in cities

The Benefits of Urban Beekeeping

Urban beekeeping offers a wide range of environmental, economic, and social benefits that make it an increasingly popular practice in cities around the world. Urban beekeeping provides a livelihood source through honey production and economic importance for agricultural production, as well as benefits biodiversity conservation and environmental education (6). Urban beekeeping offers numerous benefits that make it an attractive and meaningful practice in modern cities. One of its primary advantages is the support it provides to declining pollinator populations, which are essential for the health of ecosystems and urban agriculture. By introducing bee colonies into city environments, urban beekeeping enhances biodiversity, as bees help pollinate a wide variety of plants found in gardens, parks, and green rooftops. It also contributes to local sustainability by producing fresh, chemical-free honey and other hive products. Beyond its environmental value, urban beekeeping promotes community engagement and environmental awareness, offering educational opportunities through school programs, workshops, and public events. Additionally, it can create small-scale economic opportunities for individuals interested in selling honey or beeswax-based products. Overall, urban beekeeping not only reconnects people with nature but also helps build greener, more resilient urban spaces. Bees play a role in cleaning the air by swallowing some dust particles in the air. In addition to honey production, bees can also be utilized in gardens and by providing recreational and educational opportunities (7).

Bee colonies have declined despite their socio-ecological significance, raising serious concerns, especially regarding the spread of colony collapse disorder and pesticide and parasite exposure, which could disrupt the beekeeping industry (8,9). Urban beekeeping has expanded globally due to the decrease of bee colonies, which became a social, economic, and scientific problem (8, 10). Bees in urban settings are healthier and have stronger immune systems because they have better access to more biodiversity, which leads to a more diversified diet (11). Additionally, the activity of urban beekeeping has been recognized for its significance in cultural roles including environmental education, community building, and activities (12).

Risks and Solutions of Urban Beekeeping

The perception that bees and beekeeping are hazardous to humans is a widely accepted phenomenon. Most people have instinctive feelings and fears. Snakes, bears, sharks and bees, which are considered dangerous in society, are known to cause fear in some people. These stereotypical fears are unlikely to change. Beekeepers in particular need practical solutions to this issue (7). In some areas some obstacles restrict beekeeping. These are places where people are concentrated, such as around schools and parks, and where they can encounter bees. The presence of people and bees in the same environment creates an unfavorable environment for both humans and bees. As a result of this situation, the flight areas of bees are restricted, and people may feel uncomfortable. As a result, beekeepers are in danger of losing their colonies. In addition, keeping bees in home gardens causes disturbance to neighbors and may cause injuries to people. Especially in hot weather in summer, bees can disturb people by going to pools and puddles to meet their water needs.

Urban beekeeping is an activity that requires careful planning for public health and safety. In particular, the possibility of bees turning to areas such as swimming pools due to their need for water can cause discomfort for residents. Therefore, it is of great importance to have a clean and sufficient water source near the hives. The clean water source should be located at a maximum distance of 50 steps from the hives or half the distance of the nearest artificial water source (7). Beekeepers should also prefer only colonies with a gentle but not aggressive character and follow the good management practices recommended by local associations for urban beekeeping. Bee colonies should be kept in hives with movable frames for easy handling and maintenance. Areas where hives are to be located should have natural nectar and pollen sources within a 3-mile radius so that bees have access to adequate food sources. Hive maintenance should be completed in a short time with minimum disturbance to the bees, especially in the late spring and summer months. Management strategies such as queen replacements, population control and, when necessary, destruction of drones should be implemented to prevent possible swarming situations; colonies exhibiting defensive behavior should be quickly controlled. These measures ensure that urban beekeeping is safe and sustainable for beekeepers, society and nature.

Some studies state that urban beekeeping creates new concerns, such as increased honeybee colony densities in cities potentially affecting wild bee species by transmitting parasites and pathogens and competing for nectar and pollen resources (2,14). In order to mitigate these problems, beehives should be located within the urban area at appropriate densities and in a controlled manner. Having a large amount of hives in the same area can increase competition over natural resources, making it difficult for native pollinators such as bumblebees, butterflies and flies to access food sources. Therefore, the needs of wild pollinators should be taken into account by planting flower species preferred by wild pollinators in areas where beekeeping is practiced. In addition, hives should be located away from biodiversity sensitive areas and scientific methods should be used to monitor whether these species are affected. Raising awareness of urban beekeepers not only on honey production but also on sustainable beekeeping practices compatible with natural pollinators is of great importance for the healthy functioning of the urban ecosystem.

Conclusion

Urban beekeeping has emerged as a viable and innovative approach to addressing both ecological and social challenges in rapidly urbanizing environments. By incorporating managed bee colonies into city landscapes, this practice contributes to the conservation of pollinator populations, enhances urban biodiversity, and strengthens community ties through environmental education and local engagement. When guided by scientifically informed management strategies and appropriate regulatory frameworks, urban beekeeping can be implemented in a manner that minimizes risks to public health and native pollinators. As such, it represents not only a form of sustainable urban agriculture but also a model for fostering greater ecological awareness and resilience in urban settings. Continued interdisciplinary research and policy support will be essential to maximize its benefits while ensuring its long-term viability and coexistence with broader urban ecosystems.

References

1. Egerer, M., & Kowarik, I. (2020). Confronting the modern Gordian knot of urban beekeeping. *Trends in Ecology & Evolution, 35*(11), 956–959. https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.07.012

2. Gürel, F. (2022). Urban beekeeping rules and challenges. *European Journal of Science and Technology, 37*, 109–116. https://doi.org/10.31590/ejosat.1140826

3. Benbow, S. (2012). *The urban beekeeper: How to keep bees in the city*. Square Peg.

4. Szczurek, A., Maciejewska, M., & Batog, P. (2023). Monitoring system enhancing the potential of urban beekeeping. *Applied Sciences, 13*(1), 597. https://doi.org/10.3390/app13010597

5. Bolshakova, V., & Niño, E. (2018). *Bees in the neighborhood: Best practices for urban beekeepers* (Publication No. 8596). University of California Agriculture and Natural Resources. https://doi.org/10.3733/UCANR.8596

6. Matsuzawa, T., & Kohsaka, R. (2022). A systematic review of urban beekeeping regulations of Australia, the United States, and Japan: Towards evidence-based policy making. *Bee World, 99*(3), 89–93. https://doi.org/10.1080/0005772X.2022.2073952

7. Yücel, B. (2021). Şehir arıcılığı. In *Su Ürünleri ve Hayvancılık* (pp. 107–114). Akademisyen Kitabevi.

8. vanEngelsdorp, D., Evans, J. D., Saegerman, C., Mullin, C., Haubruge, E., Nguyen, B. K., Frazier, M., Frazier, J., Cox-Foster, D., Chen, Y., Underwood, R., Tarpy, D. R., & Pettis, J. S. (2009). Colony collapse disorder: A descriptive study. *PLoS ONE, 4*(8), e6481. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0006481

9. Woodcock, B. A., Isaac, N. J. B., Bullock, J. M., Roy, D. B., Garthwaite, D. G., Crowe, A., & Pywell, R. F. (2016). Impacts of neonicotinoid use on long-term

population changes in wild bees in England. *Nature Communications*, *7*, 12459. https://doi.org/10.1038/ncomms12459

10. Lorenz, S., & Stark, K. (2015). Saving the honeybees in Berlin? A case study of the urban beekeeping boom. *Environmental Sociology*, *1*(2), 116–126. https://doi.org/10.1080/23251042.2015.1008383

11. EMBARQ Network. (2015). Why cities should invest in beekeeping. *Smart Cities Dive*. https://www.smartcitiesdive.com/ex/sustainablecitiescollective/why-cities-should-invest-beekeeping/1093071/

12. Egerer, M., & Kowarik, I. (2020). Confronting the modern Gordian knot of urban beekeeping. *Trends in Ecology & Evolution*, *35*(11), 956–959. https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.07.012

13. MacInnis, G., Normandin, É., & Ziter, C. (2023). Decline in wild bee species richness associated with honey bee (*Apis mellifera* L.) abundance in an urban ecosystem. *PeerJ*, *11*, e14699. https://doi.org/10.7717/peerj.14699

NATURE'S SUPERFOOD BEE BREAD (PERGA) AND ITS UNIQUE PROPERTIES

Dr. Ekin VAROL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4382-5427

Prof. Dr. Banu YÜCEL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
banu.yucel@ege.edu.tr - ORCID: ID0000-0003-4911-7720

ABSTRACT

Bee bread (perga) is a fermented mixture of pollen and honey that honeybees store in their hives. It is considered an essential food for the colony, especially for developing larvae and adult worker bees. Bee bread is created when bees collect pollen from various flowers and mix it with nectar or honey, then pack it into the cells of the hive, where it undergoes a fermentation process. This fermentation, caused by naturally occurring lactic acid bacteria, helps preserve the pollen and increases its nutritional value. Bee bread is a highly nutritious substance that contains a rich blend of proteins, carbohydrates, lipids, enzymes, and antioxidants, making it an excellent source of bioavailable nutrients. It is particularly noted for its high concentration of B-vitamins, which are essential for energy metabolism, nervous system health, and cell regeneration. The antioxidants in bee bread contribute to its ability to fight oxidative stress and inflammation, two major factors in the aging process and many chronic diseases.

Despite that, bee bread plays a critical role in the health and functioning of a bee colony, and its importance extends beyond just the hive. Bee bread is often referred to as a superfood due to its rich nutritional composition. Because of these benefits, bee bread is increasingly used in dietary supplements and health products for its potential to boost immune function, promote digestive health, and even improve skin and hair health. Although much of the research on bee bread is still developing, its use in traditional medicine and its growing popularity as a superfood highlight its potential to be a valuable part of modern wellness practices. Whether consumed as a supplement or used in topical treatments, bee bread offers a natural way to improve overall health and well-being.

While bee bread is known for its health benefits, consumer awareness of its properties and uses is still relatively low compared to other bee products. With proper management, research, and consumer education, the production of bee bread can become a sustainable and valuable part of the beekeeping industry and has a potential to become more widely used in human health and apitherapy applications.

Key words: Bee bread, honeybees, apitherapy, beekeeping

NATURE'S SUPERFOOD BEE BREAD (PERGA) AND ITS UNIQUE PROPERTIES

Introduction

Bee bread, also known as *perga*, is a fermented mixture of pollen, nectar, and bee secretions stored by worker bees in the honeycomb (1,2). This process involves the enzymatic activity of bee salivary secretions and the action of lactic acid bacteria within the hive environment (3). The result is a biologically active substance that possesses enhanced nutritional quality and greater bioavailability compared to raw pollen. Bee bread is stored in the comb cells and serves as the principal protein source for developing larvae and young worker bees, playing a vital role in colony health and sustainability.

From a human health perspective, bee bread has gained significant attention due to its dense nutritional composition. These constituents contribute to its reported antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and immunomodulatory effects. As the demand for natural functional foods and evidence-based nutraceuticals continues to rise, bee bread represents a promising bioactive substance with potential applications in dietary supplementation and preventive healthcare. Moreover, its complex biochemical profile and traditional use in apitherapy warrant further clinical and pharmacological investigations.

Bee Bread (Perga): Physical and Chemical Properties

Bee bread is essentially fermented bee pollen, making it more digestible and nutritionally potent than raw pollen. Honeybees collect pollen, mix it with nectar and their own enzymes, and store it in honeycomb cells. There, it undergoes lactic acid fermentation by bacteria and yeasts, transforming into bee bread (2,4,5). Honeybees make bee bread as a vital food source for their colony. Bee bread serves as the chief protein and nutrient resource for bees, especially for feeding larvae and young adult bees. It is crucial for brood growth and the development of healthy bees (3,5,6). Lactic acid bacteria and yeasts naturally present in the hive drive the fermentation, preserving the bee bread and enriching its nutritional profile (2,7,8).

Bee bread's physical properties are shaped by its unique composition and fermentation process and can vary depending on geographic and botanical origin. Microscopic analysis shows that bee bread has a granular structure, with physical properties influenced by pollen type and fermentation (9) and it contains pigments like flavonoids and carotenoids and has a complex aroma profile determined by its botanical source (7,9). The appearance of bee bread in the comb and when extracted is like layers of different bee products on top of each other, Figure 1.



Figure 1. Bee bread in honeycomb cells (A) and after extraction (B) (10).

Bee bread contains a wide array of nutrients and bioactive compounds, including proteins, amino acids, fatty acids, sugars, vitamins, minerals, polyphenols, and organic acids. The exact composition can vary depending on the botanical origin, region, and season. Bee bread is high in protein (typically 15–23% by weight) and contains all essential amino acids except tryptophan. Aspartic acid, glutamic acid, and pyrroline are among the most abundant amino acids (2,5,8). Major sugars include fructose and glucose, with fructose often being the most prevalent. Total free sugars can range from 18–23% depending on the sample. Bee bread contains significant amounts of polyunsaturated fatty acids (up to 64.7%), including linoleic, linolenic, and arachidonic acids. It is also rich in vitamins (such as tocopherols) and both macro- and microelements, with ash content typically around 1.3–2.5%. Bee bread is high in phenolic compounds and flavonoids, including kaempferol, myricetin, luteolin, and gallic acid. And it contains organic acids such as succinic acid (up to 73.6 mg/g) (2,5,8,11,12).

Bee Pollen or Bee Bread?

Bee pollen and bee bread are both products collected and used by bees, but they differ in how they are processed, their chemical composition, microbial content, and nutritional bioavailability. The main difference is that bee bread is bee pollen that has been stored in the hive, mixed with bee secretions and honey, and fermented by microbes, making it more digestible and chemically distinct from raw bee pollen. Bee pollen is collected directly from flowers by bees and brought back to the hive. It is essentially raw plant pollen, sometimes with small amounts of nectar or bee secretions (13,14). While bee bread is created when bees pack pollen into honeycomb cells, mix it with honey and bee enzymes, and allow it to ferment through the action of naturally occurring microbes in the hive (15,16).

To produce bee bread and improve the bioavailability of pollen nutrients, honey bees have been fermenting pollen. Since pollen is the primary source of macro and microelements and the sole source of fats and protein, it is crucial to the honeybee colony's nutrition (1). By mixing glandular secretions with flower pollen and a little nectar from their crop, honeybees turn pollen into bee bread. Additionally, honeybees introduce their own bacteria into this combination. Lactic acid bacteria and yeasts (*Lactobacillus, Enterococcus, Lactococcus, Leuconostoc, Pediococcus, Streptococcus, Carnobacterium, Aerococcus, Vagococcus, Oenococcus, Tetragenococcus,* and *Weissella*) store pollen in the comb cells inside the beehive, where it quickly goes through solid-state fermentation (17,18). Considering the microbial and

digestibility aspects, bee bread contains a much higher diversity of beneficial bacteria due to fermentation, which can help break down complex compounds and increase nutrient availability. Also, bee bread is generally more digestible and its nutrients, especially proteins and bioactive compounds, are more accessible in the human gut compared to bee pollen (15,16,17).

Collecting Bee Bread

Bee bread is stored by bees in the honeycomb cells. To collect it, beekeepers manually remove the bee bread from the combs, often using specialized tools to scrape or extract the fermented pollen from the cells without damaging the comb structure (12,17). The amount of bee bread available for harvest depends on hive configuration and management practices. Adjusting brood nest configuration and frame placement can influence how much bee bread bees store and, consequently, how much can be harvested (12,19).

Health Benefits of Bee Bread

Bee bread is a nutrient-dense, bioactive-rich food with multiple health benefits, including antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, and metabolic effects. Its fermentation process enhances both its nutritional value and digestibility, making it a promising functional food for health promotion. Bee bread is high in protein, providing essential amino acids necessary for body functions and it contains significant amounts of carbohydrates, mainly from the pollen and honey components. Bee bread is a source of various vitamins and minerals, including those important for metabolic and bone health, through specific vitamin and mineral concentrations.

Studies showed that bee bread has high polyphenol and flavonoid content that provides strong antioxidant and anti-inflammatory effects, helping to reduce oxidative stress and inflammation (1, 4, 5, 20). These compounds help neutralize reactive oxygen species (ROS), thereby reducing oxidative stress, which is a key contributor to aging and the pathogenesis of various chronic diseases such as cardiovascular disorders, neurodegenerative conditions, and certain cancers. For honeybees, bee bread’s fatty acid composition is crucial, while PUFAs are necessary for a healthy body's development and productivity. Both human nutrition and bee health depend on unsaturated FAs. This product may therefore be an excellent source of all constituents (10).

Bee bread exhibits anti-inflammatory effects, modulating inflammatory pathways and cytokine production. This property has implications for managing inflammatory-related conditions, including metabolic syndrome, arthritis, and gastrointestinal disorders. Besides, bee bread shown to help manage hyperglycemia, hyperlipidemia, and support cardiovascular health by inhibiting enzymes like α-amylase and angiotensin-converting enzyme and in vitro and animal studies suggest bee bread can stimulate apoptosis and inhibit tumor cell proliferation (5,20). Furthermore, fermentation enhances nutrient bioavailability and digestibility of bee bread, making it’s nutrients more accessible than those in raw pollen (16, 21).

Bee bread has been shown to modulate lipid profiles, reduce blood glucose, and improve liver enzyme markers in animal studies, indicating its potential to support metabolic health and

the high content of these bioactive molecules gives bee bread notable antioxidant properties, as demonstrated by various antioxidant assays (22). In addition, bee bread demonstrates antimicrobial and antifungal activities, likely due to its lactic acid content and the presence of antimicrobial peptides and phenolic compounds (23, 24). These properties may contribute to gut health by modulating the intestinal microbiota and inhibiting pathogenic microorganisms. Studies demonstrated that bee bread could be explored to protect against anti-cancer agent-induced toxicities, particularly in liver and kidney fibrosis. Furthermore, specific extracts can do modulation of various biological activities involving protection via the anti-oxidative activity and inflammation, which is closely associated to some constituents, for example, phenolic and polyphenolic compounds found in bee bread (20).

While preclinical studies and in vitro findings are promising, comprehensive clinical trials are still limited. Nonetheless, the current evidence supports bee bread's potential as a multifunctional natural product with significant applications in nutrition, preventive medicine, and integrative health approaches.

Applications as a Dietary Supplement & Role in Traditional and Modern Medicine

Due to its rich biochemical composition and documented bioactivities, bee bread has emerged as a promising dietary supplement within the expanding field of functional nutrition. It is commonly consumed in powdered or granulated form, as capsules, or incorporated into health bars and natural energy products. Its high content of proteins, essential amino acids, unsaturated fatty acids, vitamins and antioxidant compounds supports its application as a general vitality enhancer, particularly in populations with increased nutritional demands such as athletes, the elderly, or individuals under physiological stress. In traditional medicine, particularly in Eastern Europe and parts of Asia, bee bread has long been used in Apitherapy. Traditionally, it has been recommended for improving digestion, strengthening immunity, restoring energy, and aiding recovery from illness or fatigue. Traditionally, bee bread has been used for general health, vitality, and as a remedy for metabolic and liver disorders (1, 4, 25, 26). In modern contexts, it is marketed as a functional food and nutraceutical, with ongoing research supporting its use in disease prevention and health maintenance. Studies revealed that bee bread has various nutritional virtues and bioactive molecules with curative or preventive effects, and can be a beneficial diet supplement for human health (5,20, 27). Due to its contribution to reproductive hormones, it is used to increase sexual performance and to increase muscle strength and volume. Since it contains acetylcholine, it is used in blood pressure and chronic constipation treatments (28). Therefore, a strong hypothesis for the safety incorporation of these products into the daily human diet as a food supplement is needed.

Despite its traditional and emerging uses, clinical evidence remains limited. While pre-clinical studies and observational reports provide a strong rationale for its application, well-designed randomized controlled trials are needed to substantiate therapeutic claims and define standardized dosages. Nonetheless, bee bread represents a natural, well-tolerated, and nutrient-dense supplement with growing relevance in both traditional healing systems and evidence-based integrative medicine.

Conclusion

Bee bread (perga) represents a remarkable example of how nature, through the collaboration between plants and bees, creates a nutrient-dense and biologically active substance with wide-ranging applications. As a naturally fermented product, bee bread offers superior nutritional qualities compared to raw pollen, including enhanced bioavailability of amino acids, fatty acids, vitamins, minerals, and a diverse array of bioactive compounds. These characteristics underlie its growing reputation as a functional food and natural health supplement. Scientific studies have increasingly validated the antioxidant, anti-inflammatory, immunomodulatory, and antimicrobial properties of bee bread, supporting its traditional use in Apitherapy and highlighting its potential in modern preventive and integrative medicine. Its role in gut health, immune regulation, and metabolic balance positions bee bread as a promising candidate for further exploration in human health and wellness. Despite these promising attributes, comprehensive clinical research remains limited, and further well-controlled studies are needed to substantiate its therapeutic efficacy and determine optimal consumption protocols. Additionally, sustainable harvesting practices and standardized processing methods will be essential to ensure both bee bread's quality and bee populations' conservation.

As a result, bee bread is not only vital for the health of the bee colony but also holds significant promise as a natural superfood for humans. Continued scientific investigation and responsible utilization may unlock its full potential in functional nutrition and evidence-based health care.

References

1. Kieliszek, M., Piwowarek, K., Kot, A. M., Błażejak, S., Chlebowska-Śmigiel, A., & Wolska, I. (2018). Pollen and bee bread as new health-oriented products: A review. Trends in Food Science & Technology, 71, 170–180. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.10.011
2. Ćirić, J., Haneklaus, N., Rajić, S., Baltić, T., Lazić, I. B., & Đorđević, V. (2022). Chemical composition of bee bread (perga), a functional food: A review. Journal of Trace Elements and Minerals, 2, 100038. https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2022.100038
3. Poyraz, F., Yalmanci, D., İspirli, H., & Dertli, E. (2023). Characterization of bee bread produced with defined starter cultures mimicking the natural fermentation process. Fermentation, 9(2), 174. https://doi.org/10.3390/fermentation9020174
4. Khalifa, S., Elashal, M., Kieliszek, M., Ghazala, N., Farag, M., Saeed, A., ... & El-Seedi, H. (2020). Recent insights into chemical and pharmacological studies of bee bread. Trends in Food Science & Technology. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.021
5. Bakour, M., Laaroussi, H., Ousaaid, D., Ghouizi, A., Es-Safi, I., Mechchate, H., & Lyoussi, B. (2022). Bee bread as a promising source of bioactive molecules and functional properties: An up-to-date review. Antibiotics, 11(2), 203. https://doi.org/10.3390/antibiotics11020203

6. Karaman, M. (2019). Evaluation of some nutritional and antioxidant values of bee bread (perga) for athletes. Spor ve Eğitim Bilimleri Dergisi. https://doi.org/10.33468/sbsebd.114
7. Ergün, H., Taner, G., Çınar, A., & Yüceer, Y. (2024). Physicochemical, biochemical and sensory characterization of bee bread. Uludağ Arıcılık Dergisi. https://doi.org/10.31467/uluaricilik.1522990
8. Aksoy, A., Altunatmaz, S., Aksu, F., Demirok, N., Yazıcı, K., & Yıkmış, S. (2024). Bee bread as a functional product: Phenolic compounds, amino acid, sugar, and organic acid profiles. Foods, 13(5), 795. https://doi.org/10.3390/foods13050795
9. Bleha, R., Shevtsova, T., Kružík, V., Šorpilová, T., Saloň, I., Erban, V., ... & Sinica, A. (2019). Bee breads from Eastern Ukraine: Composition, physical properties and biological activities. [Conference or Journal Name Not Provided].
10. Milojković, V. (2018). Bee bread (Perga) – The source of health, vitality and longevity. In Apiquality & Apimedica 2018: The XIth Congress of the XIth Romanian Society of Apitherapy. http://www.apiterapija.rs/
11. Dranca, F., Ursachi, F., & Oroian, M. (2020). Bee bread: Physicochemical characterization and phenolic content extraction optimization. Foods, 9(10), 1358. https://doi.org/10.3390/foods9101358
12. Aldarf, R., & Sultaneh, A. (2024). The difference in the source of bee bread (citrus, anise) in its chemical composition. Uttar Pradesh Journal of Zoology, 45(5), 3930. https://doi.org/10.56557/upjoz/2024/v45i53930
13. Herbert, E. W., & Shimanuki, H. (1978). Chemical composition and nutritive value of bee-collected and bee-stored pollen. Apidologie, 9(1), 33–40. https://doi.org/10.1051/apido:19780103
14. Bayram, N., Gerçek, Y., Çelik, S., Mayda, N., Kostić, A., Dramićanin, A., & Özkök, A. (2021). Phenolic and free amino acid profiles of bee bread and bee pollen with the same botanical origin–similarities and differences. Arabian Journal of Chemistry, 14, 103004. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103004
15. Ghosh, S., Namin, S. M., & Jung, C. (2022). Differential bacterial community of bee bread and bee pollen revealed by 16S rRNA high-throughput sequencing. Insects, 13(10), 863. https://doi.org/10.3390/insects13100863
16. Aylanç, V., Tomás, A., Russo-Almeida, P., Falcão, S. I., & Vilas-Boas, M. (2021). Assessment of bioactive compounds under simulated gastrointestinal digestion of bee pollen and bee bread: Bioaccessibility and antioxidant activity. Antioxidants, 10(5), 651. https://doi.org/10.3390/antiox10050651
17. Mohammad, S., Mahmud-Ab-Rashid, N., & Zawawi, N. (2021). Stingless bee-collected pollen (bee bread): Chemical and microbiology properties and health benefits. Molecules, 26(4), 957. https://doi.org/10.3390/molecules26040957
18. Narvhus, J. A., & Axelsson, L. (2003). Lactic acid bacteria. In The Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (2nd ed., pp. 3465–3472). Academic Press.
19. Semkiw, P., & Skubida, P. (2021). Bee bread production—A new source of income for beekeeping farms? Agriculture, 11(6), 468. https://doi.org/10.3390/agriculture11060468

20. Mărgăoan, R., Stranț, M., Varadi, A., Topal, E., Yücel, B., Cornea-Cipcigan, M., Campos, M. G., & Vodnar, D. C. (2019). Bee collected pollen and bee bread: Bioactive constituents and health benefits. Antioxidants, 8(12), 568. https://doi.org/10.3390/antiox8120568
21. Barta, D., Cornea-Cipcigan, M., Mărgăoan, R., & Vodnar, D. C. (2022). Biotechnological processes simulating the natural fermentation process of bee bread and therapeutic properties—An overview. Frontiers in Nutrition, 9, 871896. https://doi.org/10.3389/fnut.2022.871896
22. Martiniakova, M., Blahova, J., Kováčová, V., Babikova, M., Mondockova, V., Kalafová, A., Capcarová, M., & Omelka, R. (2021). Bee bread can alleviate lipid abnormalities and impaired bone morphology in obese Zucker diabetic rats. Molecules, 26(9), 2616. https://doi.org/10.3390/molecules26092616
23. Ilie, C., Spoială, A., Geană, E., Chircov, C., Ficai, A., Dițu, L., & Oprea, E. (2024). Bee bread: A promising source of bioactive compounds with antioxidant properties—First report on some antimicrobial features. Antioxidants, 13(3), 353. https://doi.org/10.3390/antiox13030353
24. Pełka, K., Otłowska, O., Worobo, R., & Szweda, P. (2021). Bee bread exhibits higher antimicrobial potential compared to bee pollen. Antibiotics, 10(2), 125. https://doi.org/10.3390/antibiotics10020125
25. El-Seedi, H., El-Wahed, A., Salama, S., Agamy, N., Altaleb, H., Du, M., Saeed, A., Di Minno, A., Wang, D., Daglia, M., Guo, Z., Zhang, H., & Khalifa, S. A. M. (2024). Natural remedies and health: A review of bee pollen and bee bread impact on combating diabetes and obesity. Current Nutrition Reports. https://doi.org/10.1007/s13668-024-00567-3
26. Zakaria, Z., Othman, Z., Suleiman, J., Mustaffa, K., Jalil, N., Ghazali, W. A. W. M., Zulkipli, N. A., Mohamed, M., & Kamaruzaman, K. A. (2022). Therapeutic effects of Heterotrigona itama (stingless bee) bee bread in improving hepatic lipid metabolism through the activation of the Keap1/Nrf2 signaling pathway in an obese rat model. Antioxidants, 11(11), 2190. https://doi.org/10.3390/antiox11112190
27. Baky, M. H., Abouelela, M., Wang, K., & Farag, M. A. (2023). Bee pollen and bread as a super-food: A comparative review of their metabolome composition and quality assessment in the context of best recovery conditions. Molecules, 28(2), 715. https://doi.org/10.3390/molecules28020715
28. Çelik, K. (2019). Apiterapi el kitabı (1. baskı). Sonçağ Akademi Yayınları.

UNIQUE IMPORTANCE IN THE WORLD HONEY TRADE; TURKISH PINE HONEYDEW HONEY

Prof.Dr. Banu YÜCEL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
banu.yucel@ege.edu.tr - ORCID: ID0000-0003-4911-7720

Dr. Ekin VAROL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4382-5427

ABSTRACT

Turkiye has very high beekeeping potential with about 8.984.000 honeybee colonies and over 118.000 tons of annual honey production according to recent national statistics. This colony numbers holds second place and honey production takes the third place in the ranking of the world countries. About 25 % of this production consists of pine honeydew honey which produced only in southwest coast of the country and this production is about the 92% of world pine honey production. So that makes Turkiye the biggest pine honeydew honey producer and exporter in the world. 80-82% of pine honeydew honey production is only produced in Muğla province by the local beekeepers and the beekeepers came from nearly all over the country. *Marchalina hellenica* Genn. is mentioned as the most important honeydew producing insect, from which all the pine honeydew honey originates (*Pinus brutia*) in Turkiye. This "honeydew" is collected by honeybees which turn it into richly flavoured product reminiscent of sweet molasses and valuable honey, "pine honeydew honey" with reputed medicinal benefits. As the quality of honeydew honey is quite high in Turkey, it plays a very significant role in the economy of the country.

Turkey exports a big part of the total production (approximately 10.000 tons/year) of pine honey to foreign countries. The pine honey offers such unique physicochemical parameters that it is different from any other honey. So, standardization and authentification of pine honeydew honey is of great importance in the honey trade in order to market it at a fair price.

Pine honeydew honey is used in Apitherapy because of its high phenolic contents. It has a dark, hazy and distinctivly well defined aroma and flavor. Pine honeydew honey has more ash contents and blurred view than flower honey. It can also be related to the high flavanoid and mineral contents of pine honey. Regarding the launched "A National Residue Monitoring Program" by Turkish Ministry of Agriculture and Forestry, the export of residue-containing or adulterated pine honey has been greatly prevented in the last years, thus increasing the foreign market potential for pine honeydew honey and the esteem of Turkiye. Another important point is that the forests of red pine trees, mediator of *Marchalina hellenica*, which is the most important pine honey-producing insect, be preserved and receive some contribution from EU countries, in which case the potential of pine honeydew honey production will be immense, especially in Muğla, where almost all the world pine honey is produced. Provided that the above-mentioned measures are taken, Turkey is surely ready to share with whole world this unique sweet blessing, the pine honey, that god gave to this unique geography.

Key words: Pine honeydew honey, Turkiye, honey, honey trade

UNIQUE IMPORTANCE IN THE WORLD HONEY TRADE; TURKISH PINE HONEYDEW HONEY

Introduction:

Aphids, cochineals and some insects that live on plants and have stinging-sucking mouthparts accumulate some of the plant sap on the leaves and the trunk and branches of the tree. Honey bees collect these sweet juices, subject them to physical and chemical changes and store them in the cells of the honeycombs. This honey is called "honeydew honey". Honeydew honeys are called "pine honey" or "leaf honey" depending on the source they are obtained from (1).

The source of honeydew honey, including pine honey, is nectar. Honeydew is the rectal secretion of insects that feed on phloem sap, which contains a high sugar content. After the insects have taken in the nutrients they need, they excrete the remaining sugary substance as feces. Bees convert this high sugary substance into honey. The honey produced in this way is called honeydew honey (2). Some studies on pine trees and insect biology have shown that the yield level of pine honey is closely related to the amount of potential nutrients contained in the tree rather than the insect's secretion physiology, that the amount of pine honey taken from the same species of pine trees in the same region varies, and even altitude affects the pine nectar obtained from the trees (3).

Production and Properties of Pine Honey:

Approximately 92% of the pine honey produced in the world is produced in the western and southwestern coasts of our country, in İzmir, Kuşadası, Milas, Bodrum, Muğla, Marmaris, Datça and Fethiye. The fact that almost half of the beekeepers in the country were active in this region during the pine honey production period reveals the importance of the region not only for Turkey but also for the world pine honey production. Turkey exports a big part of the total production (approximately 10,000 tons/year) of pine honey to foreign countries. The pine honey offers such unique physicochemical parameters that it is different from any other honey. Therefore, standardization and authentication of pine honeydew honey is of great importance in the honey trade in order to market it at a fair price (4).

This liquid secreted by the *Marchalina hellenica* insect between July and October is collected by honey bees and converted into pine honey. This insect lives only on the Red Pine, Black

Pine and Aleppo Pine (5). The sap secreted by *Marchalina hellenica* is 80% sugar and a small amount is protein. The insect has to suck a large amount of sap to meet its nutritional needs. It expels the excess carbohydrates through the anus. This waste, called honeydew, is rose-red in color and pleasantly scented and is converted into honey by the bees (6).

Pine honey is a special secretion honey with a unique odor and flavor, dark color, resinous, viscous, slightly cloudy appearance, and late crystallization. Microscopic and chemical methods are used to determine the geographical and botanical origin of pine honey. Traditional parameters based on chemical, sensory and microscopic methods are not sufficient to reveal the differences between secretion honeys. It has been determined that detailed analyses such as preliminary phase fluorescence spectrometry, FT-IR, and analyses based on color and amino acid profiles give more accurate results in determining the differences between secretion honeys (4).

Botanical description of honey is useful in revealing the differences in the basic elements between pine and flower honeys. There is no significant difference between pine and flower honeys in terms of humidity, HMF, diastase, protease activity criteria. One of the criteria used in determining the difference is electrical conductivity. Electrical conductivity is a feature used in determining the plant source from which the honey is produced and the ash content. Increasing the acid and ash content in honey increases the electrical conductivity of honey, in other words, there is a linear relationship between the ash content of honey and its electrical conductivity. Electrical conductivity and ash content are higher in pine honey (3).

Criteria such as fructose-glucose ratio, amino acid, pH, acidity are also determinants for honey, but none of them are sufficient to distinguish pine and flower honeys on their own. Another important criterion determining pine honey is polysaccharides (erlose and melezitose) produced from plant sap by enzymes secreted by aphids, cochineals and other insects and protocatechuic acid, which are only found in honeydew honeys. (7,8,9). In addition to these, pine honey contains a large number of hyphae and spores. These hyphae contain fungal species that are not found in honeydew honeys other than pine honeys. In other words, it is one of the basic determining features of pine honey. The fact that their mineral substance content is higher than that of flower honeys causes these honeys to be dark in color. Flavonoid substance content is high in dark colored honeys. Flavonoids provide antioxidant properties to honey (5).

Pine honey has a strong antioxidant activity due to its high phenol content and is successfully used in apitherapy. It provides successful results especially in general infections, immune system diseases, bacterial and viral diseases, skin diseases, wound and burn treatments, gastrointestinal infections and detoxifying the body. The pH level of pine honey, which varies between 3.8 and 4.5, prevents the development of bacteria that cause infection. (10,11).

Conclusion:

As a result; pine honey is of particular importance for our country as it is one of our important export products and as a “geographical indication”. Pine honey is a special honey among secretion honeys with its quality and taste, and the fact that it is sold mixed with flower honeys in the European honey market due to the concern that secretion honeys are generally tasteless, makes pine honey stand out among secretion honeys. As a country, we need to evaluate this advantage and unrivaledness of pine honey very well. However, there is a significant problem that overshadows this advantageous situation. There is a discrepancy between the criteria regarding secretion honey in the laws of EU member states in their own countries. In other words, since there is no common legislation regarding secretion honey, let alone pine honey, significant problems are experienced during the laboratory inspection stage during the export of secretion honeys.

The fact that pine honey is a honey specific to our country and has a high export potential reveals the necessity of a separate codex definition specific to this honey. The implementation of research, training and support regarding our country's pine honey, which is also highly qualified in terms of apitherapeutic properties, will increase the production of quality pine honey, ensure the principle of continuity and solve problems with traceability, and will ensure that pine honey is more recognized and marketed in the world market. It is necessary to accelerate strategically important studies such as ensuring the continuity of the natural life cycle of the southern Aegean coastal region where pine honey is produced, acting with environmental sensitivity, keeping mining and industrial investments away from the region, increasing the yields of pine trees and supporting the life cycle of the insect by performing and/or monitoring the necessary tree-insect care, and cooperating with forest and environmental directorates, research institutions and universities.

Literature

1. Crane, E. 1975.A Comprehensive Survey,Morrison and Gibb Ltd., London,608p.

2. Zander, E., Koch, A. Der Honig, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, (1994) 201 p.

3. Tolon, B. 1999. Muğla ve Yöresi Çam Ballarının Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova-İzmir, 117s.

4. Yücel, B., Kösoğlu, M., Doğaroğlu, M. 2007. Physicochemical properties of Turkish honeydew honey. 1st Balkan Countries Beekeeping Congress, 29 March-1 April, İstanbul-Turkey. P:18.

5. Yücel,B. 2013. Ülkemizin dünyaya armağanı; Çam balı. Petek**,**10:7-9.

6. Gürkan, B. Çam pamuklu koşnili *Marchalina hellenica* (Genadius)'nın Biyo-Ekolojisi ve Populasyon Dinamiği. Doktora Tezi, Ankara (1989).

7. Henneberry, T,J,, L, Forlow, and D,L, Hendrix, 2000, Sweet Potato Whiteflies. Cotton Aphids and Sticky Cotton, Proc, Beltwide Cotton Conf,, San Antonio, TX, 4-7 January, Natl, Cotlon Council, Am,, Memphis.TN, 2, p, 1160-1163.

8. Bogdanov,S., Gfeller, M. 2006.Classification of honeydew and blossom hney by discriminant analysis. ALP Science, Nr.500. Pp:9.

9. Palassopoulou, M., Haristos,L., Kalapanida, M., Kostarelou, M. And Tsellios, D.2002. Identification of sugars in honeydew secretions by *Marchalina hellenica*. 1st Hellenic Scientific Conference in Apiculture- Sericulture.29 November-1 December, Athens. P:9.

10. Stangaciu, S. 1997. Apitherapy Internet Course Notes, 143pp.

11. Yücel,B., Akçiçek, E.2005. Balın modern tıpta kullanımı. Hasad Gıda**,** 244:22-25.

NEW APPROACHES ON VALUE-ADDED BEE PRODUCTS; WHOLE BEE (PODMORE), BEE DRONE LARVAE (APILARNIL) AND BEE HIVE AIR APPLICATIONS

Prof.Dr. Banu YÜCEL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
banu.yucel@ege.edu.tr - ORCID ID:0000-0003-4911-7720

Dr. Ekin VAROL
Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi
ekin.varol@ege.edu.tr - ORCID ID:0000-0003-4382-5427

ABSTRACT

Beekeeping is the ancient science of the honey bee (*Apis mellifera L.*), the most advanced social insect that has been cultivated for thousands of years and is a nature-dependent livestock activity. Throughout history, the use of bee products, especially honey, for health and nutrition purposes and the scientific researches and the proof of these effects, their use has been increasing.

In recent years, the production and processing of other value-added bee products other than honey has come to the fore among the important income generating activities for the beekeeper in terms of economic gain. Increasing the diversity of bee products and introducing innovative bee products to the market are not only economically attractive to beekeepers, but also raise awareness in terms of consumption of value-added bee products in importance of public health. In beekeeping, whole bee (podmore), drone larva (Apilarnil) and bee hive air applications have the potential to be evaluated as new approaches that can be applied within the scope of value-added bee products. The fact that the production costs of these products are quite low, podmore and apilarnil are evaluated as waste material in the hive and added to the production as "up-cycle" increases the interest in the production of value-added products in beekeeping. Applications such as whole bee (podmore), drone larva (apilarnil) and bee hive air, it is possible for patients to regain their health with low-cost, without side-effect and reliable treatment support. It is foreseen that it will be possible for people to lead a more fit and quality life. It is worth noting that these practices are "supportive" or "complementary" to modern medical treatment.

Key words: Bee products, Podmore, Apilarnil, Bee hive air, Apitherapy.

NEW APPROACHES ON VALUE-ADDED BEE PRODUCTS; WHOLE BEE (PODMORE), BEE DRONE LARVAE (APILARNIL) AND BEE HIVE AIR APPLICATIONS

Introduction:

Bee products have been on the agenda in recent years with the development of approaches in the concept of natural nutrition and healthy living. Especially in recent years, value-added bee products like apis totale, apilarnil and bee hive air have gained popularity in terms of complementary health applications in the field of health.

Apis Totale (Podmore): Apis totale (podmore) is a bee product obtained by grinding dead male and worker bees as a whole and extracting the biological contents of their glands, internal organs and body parts. It contains chitin, heparin, heparinoid, glucosamine, melanin, acetic acid, honey, bee bread, propolis, pollen, royal jelly, apilarnil, bee venom, beeswax, melanin oil (Omega 3-6-9 and Q-10), proteins, carbohydrates, essential amino acids, polypeptides, flavonoids, proteins, enzymes, hormones, vitamins, fiber, sterin, polyunsaturated fatty acids, hemolymph, peptides (adolapin, melitin, MCD-peptide, apamin and protease inhibitors) (1,2). It is evaluated as a health protection and complementary treatment element in apitherapy. It is important that the bees to be used for this purpose are obtained from healthy hives where organic beekeeping or good agricultural practices are applied, especially in the spring, summer and autumn periods, and that they are fed with high-quality honey and pollen during these seasons.

It is necessary to ensure that the bees to be used in Apis totale production have died due to physiological aging, hunger, cold, thirst, sting loss, and mechanical factors. If any synthetic drug must be used in the hive, Apis totale production should be avoided. Dead bees collected from hives in the summer and autumn seasons are washed and dried in a 45°C oven. It is important for the bees to be completely free of moisture during the drying process in order to prevent fungus production. Apis totale is ground after the drying process and prepared for extract production. It can be extracted in water, alcohol, and oil. If it will not be turned into an extract, it can be stored in a dry and cool place after grinding. After Apis totale is prepared, it must be stored under cold chain conditions and it must be determined that the people who will use it are not allergic to bee products (3).

Apis totale has a unique odor, a pH value of 6.5, and a rich biochemical structure. In properly dried bees, the organs and systems that produce bee products are protected from adverse effects from heat. External application of Apis totale (podmore) to the skin with conductors such as honey, oil, and plant extracts allows the compounds in its content to penetrate the skin more effectively. It is recommended to use Apis totale with propolis to strengthen its effect (2,3).

The chitin in its structure prevents the formation of fat cells in the body, improves the skin, strengthens the hair structure and accelerates fat loss. Bee venom accelerates metabolism and improves the immune system. Amino acids strengthen the muscles. In addition, it prevents the development of the lamblia parasite (giarda lamblia) that can be found in the liver. In addition to these; it balances high cholesterol and blood pressure, has a vasodilating effect in wounds and burns (anticoagulant), cleans the intestinal microflora, cleanses the body of toxins (antitoxic), stimulates the immune system, balances carbohydrate and lipid metabolism (hypolipidemic), reduces the risk of diabetes, removes radiation and heavy metals from the body, prevents vascular lesions in the brain, prevents prostate gland inflammation (antiprostatitis), is applied in chronic lung, liver (hepatoprotective), gastrointestinal, muscle, joint and central nervous system diseases (3,4,5). It is recommended that the treatment with Apis totale be applied by a specialist physician and in the form of a cure. It should not be used in children under three years of age, pregnant women, or people who are allergic to any bee products.

Apilarnil: Apilarnil is the 3-7 day larval stage of male bee larvae before they transition to the pupal stage. Apilarnil, which has very strong biological properties, is homogeneous, has a milky boza consistency, yellowish gray color and a bitter taste. It can be easily adulterated and requires cold chain storage in raw form. After the larval eyes close, the nutritional composition of the larva changes in the pupal stage, so it is appropriate to harvest it in the larval stage, where the highest quality nutritional form is preserved. Ideally, the larvae should be in the same larval age period (6,7).

Apilarnil is a bee product with a very high production potential in our country. The production and processing of this bee product will help a product that is seen as a waste material in the hive to be re-introduced to the production cycle and provide economic gain. The product should be harvested quickly, considering its temperature sensitivity, and care should be taken to prevent the larvae from being exposed to direct sunlight. Before the larval stage passes into the pupal

stage, water is given to the larvae's eyes to prevent defecation, and both the cleaning process and the larvae are harvested. If it needs to be stored until the processing stage, it should be frozen in series (-18 ºC) for this purpose. After freeze-drying, which is the best processing method, the larvae can be stored safely at -15ºC for 7 months. The quality of apilarnil is significantly affected by its production, hygiene, storage and marketing conditions (7,8).

The quality of apilarnil is determined by the proteins, carbohydrates, fats, polyphenols, amino acids, vitamins and minerals in its structure, and the protein profile varies depending on the type of pollen consumed by bees. The rich polyphenols in its structure provide it with a high antioxidant capacity, and it has higher antioxidant properties than royal jelly (9,10). It has been determined that apilarnil has a significant antibacterial effect on different bacteria, but is not effective on fungi. It has been determined that it has a very effective antibacterial effect especially on gram-positive bacteria (Bacillus aureus), but its effect on gram-negative bacteria (Escherichia coli and Pseudomonas aeruginosa) was found to be very low (11,12).
Triggering the release of androgenic hormones, but the exact mechanism of action of apilarnil is not known, it provides extremely successful results especially in men with sexual performance (impotence), erectile dysfunction, premature ejaculation, and sperm deficiency problems, and is sold as a "natural viagra" in Far Eastern countries (13). It is used in the treatment of insufficient reproductive functions in women and irregularities in the ovulation cycle (menstrual period). As a natural anabolic stimulant in men, it increases muscle weight in the body and encourages muscle growth in athletes who do bodybuilding through natural methods. Apilarnil, which is a powerful source that stimulates oxidative processes that cause energy production due to its strong catabolic effect in the body, prevents glycogen loss in the muscles (14,15).

Apilarnil; It is used in animal feeding, in healthy individuals, in anorexia (due to its appetite enhancing effect), in hypoporoteinemia (protein deficiency), in excessive physical and mental fatigue, in the development of premature children, in the development of intelligence and motor muscles of preschool children (due to its neurophysicochemical effect), in depression, nervous system diseases (due to its neuromodulatory effect), in the treatment of Alzheimer's (due to its effect of preventing gray cell destruction in the brain), in bone development problems and skeletal system diseases (osteoporosis, bone tissue loss), in endocrine (internal secretion gland) disorders, insufficiency of the pituitary and adrenal glands, in premenstrual pains, in immune system diseases (as a biostimulant), in geriatrics (due to its feature of increasing the regenerative

power of skin tissues), in pure or lyophilized form depending on its chemical structure, in medicine, food and cosmetics (16,17,18,19,20).

It has been reported that the dosage can be recommended by the physician according to the severity and type of the disorder. Medical studies on its use in children are limited. In the treatment of chronic diseases, it is recommended that the patient first undergo an allergy test, then start treatment with a low dose upon the recommendation of the physician and follow a gradually increasing course. It is emphasized that a break should be taken after the treatment application and continuous use should be avoided (21).

It is very beneficial to detoxify the body before using apilarnil, to cleanse the tissues and organs and to increase bioavailability. Increasing blood circulation with activities such as light sports, walking, and massage will support the delivery of apilarnil's active ingredients to the target tissues and cells (22,23).

Apilarnil should not be used if an allergic reaction is observed to any substance in its composition. If taken in high doses, digestive system complaints may be seen, toxicity, hyperandrogenism, hyperspermatogenesis and mild insomnia may occur. If general discomfort, diarrhea, abdominal pain and vomiting are observed after taking apilarnil, its use should be avoided. Since incorrect dose, application and interaction of methods may make apilarnil treatment negative, it should be used under the supervision of a physician (24).

Bee Hive Air: In the application of bee air, the system is to take the air in the hive systematically and slowly with a fan mechanism and breathe it in. The air in the hive is transmitted to the hose-mask via a fan mechanism prepared on the cover board and the air flow rate of which can be adjusted with a regulator. Each patient inhales the air in the hive with their own hose-mask apparatus and does not come into direct contact with the bees. The mask should be disinfected by soaking it in vinegar water once a week after each application. By breathing the warm air in the hive, the very valuable components in the microclimate are directly taken into the body (25).

The presence of a healthy developing bee colony in the hive ensures the formation of a high-quality microclimate. The water vapor in the air inhaled from the hive contains important volatile and aerosol-containing substances. The saturated water vapor, isoprenoids, carotenoids, terpenes and essential oils in the hive are constantly refreshed by the bees by providing air flow.

In addition, the microclimate contains active substances in honey, pollen, beeswax, royal jelly, apilarnil and propolis, hormones, pheromones, phytohormones, volatile wax components, high-value alcohols, mandibular gland secretions of bees, aerosol, propolis-derived aerosol, trace elements, enzymes and choline (26).

The hives and sheds where the bee air application will be made should be made of natural wood material, and the hives should be placed inside the shed in a way that their entrance holes open to the outside environment. The fact that the colonies are strong, that they contain individuals of different ages, and that a continuous flow of nectar and pollen is provided to the colony are considered to be the elements that will help to obtain positive results from the application. In general, the bee air application should be made in the spring-summer seasons, in hives where "good agricultural practices or organic beekeeping" are applied, and in clean environmental conditions. Care should be taken to ensure that the air temperature is not below eighteen degrees and that the application is not made in rainy weather. Care should be taken to limit the number of inhalations per hive per day to five patients. The patient should be informed by his/her doctor before the bee air application, a protocol should be prepared for him/her to comply with the applications during the treatment period, and how the process works should be explained in detail. Supporting the application with other bee products such as honey, propolis, pollen and royal jelly during the bee air application and adjusting the dosage and duration of use by taking into account the doctor's recommendation ensures more benefits from bee air (25,27).

During the treatment, the air inside the hive should be taken rhythmically and slowly, rapid breathing should be avoided, and a fifteen-minute break should be given between applications so that the air can be renewed. Excessive rapid breathing can be risky as it can cause both a deterioration in the patient's blood pressure balance and a rapid change in the microclimate where the bee colony is located. Patients can benefit from microclimatic changes by breathing the air from different hives in each session. In individuals taking bee air, relief, relaxation, uninterrupted and quality sleep, expansion of lung capacity and, consequently, easy breathing have been observed. It has been determined that breathing hive air for half an hour twice a day for ten days in healthy individuals significantly strengthens the immune system (28).

In medicine, it is known that taking drugs by respiration (inhalation) is particularly effective. Active substances reach the target area directly in this way. Inhaled molecules are effective quickly and directly. Bee air is seen to be extremely effective in diseases such as bronchitis,

asthma, allergy, COPD (Chronic Obstructive Pulmonary Disease), emphysema, pseudocroup, immune system deficiency, migraine, depression. In various medical evaluations performed on these patients (such as attack observation, lung capacity measurement tests, blood tests, isotope measurements), a rapid and effective recovery course has been determined (28).

Conclusion

It is anticipated that with the applications such as Apis totale (podmore), apilarnil and bee air, which are just starting to be recognized in our country in the apitherapeutic course and attract attention with their promising results, it will be possible for patients to regain their health with low-cost, side-effect-free, reliable treatment support and for healthy people to continue their lives in a more energetic and quality way. It is useful to draw attention to the fact that these applications are “supportive” or “complementary” to modern medical treatment. These studies, which can yield rational results with the partnership of multidisciplinary branches of science, should be carried out with objectively measurable medical parameters on a larger number of patients and disease types.

Literature

1. Kirilov N. Pçelnite produkti, hirana i leçebna sila. İzdatelstvo Enyoçe 2007; 108-10.
2. Anonim; http://great-beemaster.blogspot.com.tr/p/podmore.html (Erişim:15.05.2025)
3. Anonim; http://symptomms.com/en/pages/1579307 (Erişim:15.05.2025)
4. Anonim; http://menportals.com/en/pages/1471471 (Erişim:15.05.2025)
5. Anonim;http://mymedinform.com/others/application-bee-podmore.html(Erişim:15.05.2025)
6. Barnutiu LI.Biological properties evaluation of the quality markers from royal jelly and apilarnil. University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Faculty of Animal Husbandry and Biotechnologies (PhD Thesis)2013; Cluj-Napoca/Romania; 55.
7. Barnutiu LI, Marghitaş LA, Dezmirean D,et al. Physico-chemical composition of Apilarnil (Bee drone larvae). Seria Zootechnie 2013; 59:199-202.
8. Cornoiu I. Din produsele stupului…Laptisorul de matca si Apilarnilul (Test de verificare a cunostintelor). Apicultura in Romania 1995; 8:30.
9. Iliesiu NV. A new biostimulating and energizing product on the basis of bee products,25th Apimondia Congress, Grenoble – France 1975; 224-5.
10. Iliesiu NV. Apilarnil, The 8th biologically active bee product. Apicultura in Romania 1980; 12:4.
11. Ioyrish N, Derevici A, Petrescu A.Virulicidal action in vitro of alcoholic extracts of drone larvae and propolis. Lucr. Stiint. ale Statiunii de Cercetari Apicole si Sericicole 1965 ; 5 :107-10.

12. Kogalniceanu S, Lancrajan I, Ardelean G. Changes of the glucidic metabolism determined by the physical effort of the treatment with the Aslavital and Apilarnil. Arad Medical Journal 2010; 3:33-41.
13. Drugeanu C.Rezultate obþinute în tratamentul cu “Apilarnil-potent” a tulburarilor de dinamicã sexualã. Apicultura in Romania 1989;10:21.
14. Iliesiu NV. Apilarnil, Health, Strength and Longevity.Apimondia Publishing House, 1991.
15. Iliesiu NV. Preparation based on medicinal plants, bee products, apilarnil and pollen. Apicultura in Romania 1993;1:8.
16. Cosman D, Iliesiu NV, Moldovan O.The efficacy of neurosis treatment with Apilarnil. Apicultura in Romania 1984; 3: 21-4.
17. Iliesiu NV. Apilarnil lyophilised in honey. Apicultura in Romania 1993; 3:23.
18. Iliesiu NV.A bio-stimulative and dieto-therapeutic product ”Apivitas - Forte". Apicultura in Romania 1993; 4:8.
19. Iliesiu NV.Contribution of Apilarnil and Apitotal N.V.I. to the strengthening of natural defensive factors of the body with special reference to the immune system. Apicultura in Romania 1987; 10:17-20.
20. Speteanu R, Cismaru S, Iliesiu NV. Apilarnil, an active compound in cosmetic products. Apicultura in Romania 1984; 4:23-4.
21. Matsuka M, Watabe N, Taceuchi K. Analysis of the food of larval drone honeybees. Journal of Apicultural Research 1973; 12: 3-7.
22. Okada I, Matsuka M. Artificial rearing of Harmonia axyridis on pulverized drone honey bee brood. Environ Entomol 1973; 2:301-2.
23. Stangaciu S. Bee products and their medicinal uses. Honeybee Science 2002; 23 (3): 97-104.
24. Yücel B, Kösoğlu M. Apiterapi’de Apilarnil. Arı Ürünleri ve Sağlık (Apiterapi). Sidas Yayınevi, 2005.
25. Musch H. ApiAir – Die Bienenlufttherapie. Ochsenhausen 2014;15.
26. Bengsch E. Studie über potenzial der biomedizinischen wirksamkeit von inhalierter bienenluft. Max Planck-Institute 2014; 4.
27. Uccusic P.Bienenprodukte: Ihre Heilkraft und Anwendung. Ariston Verlag, 1985.
28. Yücel B, Ceylan H. Arı (Kovan) Havası ve Sesi’nin Apiterapi’de Kullanımı. Arı Ürünleri ve Sağlık (Apiterapi). Sidas Yayınevi, 2015.

.

VAN İLİNDEKİ HAYVANCILIK DESTEKLERİNİN TÜRKİYE İÇERİSİNDEKİ DURUMUNUN İNCELENMESİ

Dilek TAŞCAN
Harran Üniversitesi /Ziraat Fakültesi,
dilektascan63@gmail.com- 0009-0008-0173-9348
Doç. Dr. Ferhat KÜP
Harran Üniversitesi /Ziraat Fakültesi,
ferkup@harran.edu.tr-630000-0001-9028-3224

ÖZET

Türkiye'de hayvancılık sektörü, tarımsal üretimin önemli bir kolunu oluşturmaktadır. Bu sektörün sürdürülebilirliği ve verimliliği için devlet tarafından çeşitli destekleme programları uygulanmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye genelinde hayvancılık sektörüne sağlanan destekler ile Van iline yönelik özel teşvikler incelenmiştir. Türkiye'de hayvancılığa yönelik hibe, teşvik ve kredi destekleri ele alınarak sektörel gelişime katkıları değerlendirilmiştir. Ayrıca, Van ilinde hayvancılığın mevcut durumu ve bu bölgeye sağlanan desteklerin etkinliği analiz edilmiştir. Özellikle mekanizasyon alanındaki eksikliklere bağlı olarak hayvancılıktan istenilen maksimum verim alınamamaktadır. Sonuç olarak, hayvancılık mekanizasyonu ve modernizasyonu konularında bölgesel farklılıkların göz önünde bulundurulması gerektiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Van, hayvancılık destekleri, mekanizasyon, hibe programları.

EXAMINATION OF THE SITUATION OF LIVESTOCK SUPPORT IN VAN PROVINCE WITHIN TURKEY

ABSTRACT

The livestock sector in Turkey constitutes an important branch of agricultural production. Various support programs are implemented by the state for the sustainability and efficiency of this sector. In this study, the supports provided to the livestock sector throughout Turkey and special incentives for Van province were examined. Grants, incentives and credit supports for livestock in Turkey were discussed and their contributions to sectoral development were evaluated. In addition, the current situation of livestock in Van province and the effectiveness of the supports provided to this region were analyzed. Due to the deficiencies in the field of mechanization in particular, the desired maximum efficiency cannot be obtained from livestock. As a result, it was emphasized that regional differences should be taken into consideration in the areas of livestock mechanization and modernization.

Keywords: Van, livestock supports, mechanization, grant programs.

1. GİRİŞ

Hayvancılık, Türkiye ekonomisinde tarım sektörünün önemli bir bileşenidir. Hem küçük aile işletmelerinin geçim kaynağı hem de büyük ölçekli üretim tesislerinin temel faaliyet alanlarından biridir. Ancak, düşük verimlilik, yüksek maliyetler ve yetersiz mekanizasyon gibi faktörler sektörün gelişimini kısıtlamaktadır. Bu nedenle, hayvancılık faaliyetlerini teşvik etmek amacıyla devlet destekleri ve hibe programları yürürlüğe konulmuştur.

Türkiye, coğrafi konumu, iklim çeşitliliği ve geniş meralarıyla tarım ve hayvancılık sektörlerinde önemli bir potansiyele sahiptir. Bu sektörler, ülke ekonomisinin temel taşlarını oluşturmakta, istihdam yaratmakta ve kırsal kalkınmayı desteklemektedir. Hayvancılık sektörü, tarımsal üretimin ayrılmaz bir parçası olup, gıda güvenliği, sanayiye hammadde temini ve ihracat gelirleri açısından stratejik bir öneme sahiptir.

Son yıllarda, Türkiye'de hayvancılık sektörünün geliştirilmesi ve sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla çeşitli destekleme programları uygulanmaktadır. Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen bu programlar, hayvansal üretimi artırmak, verimliliği yükseltmek ve üreticilerin gelir düzeyini iyileştirmek hedefleriyle şekillendirilmiştir. Örneğin, düve alım desteği kapsamında, Bakanlıkça belirlenen düve bedelinin %40'ı oranında hibe desteği sağlanmaktadır. (Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2021).

Van ili, sahip olduğu geniş mera alanları ve hayvan varlığıyla Türkiye'nin hayvancılık sektöründe önemli bir konuma sahiptir. İlde, hayvancılık faaliyetlerinin geliştirilmesi amacıyla çeşitli projeler ve yatırımlar hayata geçirilmiştir. Örneğin, son üç yılda besicilere 125 bin koyun dağıtılarak, hayvancılığın geliştirilmesi hedeflenmiştir. (Anadolu Ajansı, 2023).

Bu çalışmada, Türkiye genelinde uygulanan hayvancılık destek programları ile Van iline özgü desteklerin kapsamı, uygulanma koşulları ve etkinliği incelenmiştir. Araştırmanın amacı, bölgesel farklılıkları ve yerel dinamikleri göz önünde bulundurarak, hayvancılık desteklerinin yerel düzeydeki etkilerini değerlendirmek ve politika yapıcılar ile uygulayıcılara öneriler sunmaktır.

2. MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada, Türkiye genelinde ve Van ilinde uygulanan hayvancılık destek programlarının kapsamı, uygulanma koşulları ve destek tutarları nitel veri toplama teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Araştırmanın temel yöntemi, belge taraması ve içerik analizine dayalı nitel araştırma yaklaşımıdır. Çalışmada, Tarım ve Orman Bakanlığı, T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, TÜİK, Ziraat Bankası gibi resmi kurumların yayınladığı raporlar, duyurular ve web siteleri ile yerel haber kaynakları ve akademik yayınlar incelenmiştir. Araştırmanın zaman aralığı, 2019 ile 2026 yılları arasını kapsamakta olup bu dönem içindeki destek programları, başvuru koşulları ve destek tutarları detaylı olarak değerlendirilmiştir.

Yerel verilerin elde edilebilmesi amacıyla, Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü tarafından sağlanan duyurular ve raporlar da analiz sürecine dahil edilmiştir. Toplanan belgeler, destek programlarının özelliklerini, artış oranlarını ve uygulama alanlarını belirlemek için sistematik bir içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiş; Türkiye genelindeki destekleme politikaları ile Van ilindeki uygulamalar, bölgesel farklılıkların ortaya konulması amacıyla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Ayrıca, destek programlarının etkinliği, uygulama koşullarının yerel dinamiklerle uyumu ve çiftçilerin erişim düzeyleri nitel değerlendirme yöntemleriyle

yorumlanmıştır. Bu yöntemsel çerçeve, çalışmanın amacına uygun olarak hayvancılık destek programlarının hem makro hem de mikro düzeyde kapsamlı bir biçimde değerlendirilmesini sağlamış ve bölgesel farklılıklar ile desteklerin etkinliği hakkında detaylı sonuçlara ulaşılmasına olanak tanımıştır

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1.Hayvansal Üretim

Hayvansal üretim, evcil hayvanların bakımı, beslenmesi, üretimi ve yetiştirilmesini kapsayan tarım koludur. Bu alan, hayvan yetiştirme, besleme, ıslah, mekanizasyon ve biyoteknoloji gibi konuları içerir. (Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 2024)

3.2.Türkiye'de Hayvancılık

Türkiye'de hayvancılık, genel ekonomi ve tarım sektörü açısından önemli bir yer tutmakta ve büyük bir potansiyele sahiptir. Hayvansal üretim faaliyetleri, bitkisel ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, işgücü verimliliğinin artırılması, işletme kârının yükselmesi ve doğal-ekonomik risklerin azaltılması gibi faktörlerle işletmelere olumlu katkılar sağlamaktadır. Ayrıca, hayvancılık sektörü toplum sağlığı açısından dengeli beslenme için de büyük önem taşımaktadır. (Vural & Fidan, 2007).

Türkiye'de hayvan sayısı fazla olsa da, hayvan başına verim düşüktür. Gelişmiş ülkelerle karşılaştırıldığında, sığır başına karkas ve süt verimi oldukça geridir. 2004 verilerine göre, sığırların sadece %20,9'u saf kültür ırkı, koyunların %97'si ise düşük verimli yerli ırklardan oluşmaktadır. Hayvan ıslahını geliştirmek amacıyla suni tohumlama çalışmaları yapılmakta, kaliteli kaba yem üretimi artırılmalı ve hayvan hastalıklarına karşı önlemler güçlendirilmelidir.Hayvancılıkta kamu yatırımlarının tahsisatında; ıslah çalışmalarına, kooperatifçiliğe, hayvan hastalıkları ve zararlıları ile mücadeleye, koruyucu aşılama-ilaçlamaya ve suni tohumlama hizmetlerine ağırlık verilmesine devam edilmelidir. (DPT, 2006 YILI PROGRAMI, 2006)

Türkiye'de hayvan başına verimlilik, gelişmiş ülkelere göre düşüktür. 2009 verilerine göre, sığır karkas ağırlığı ortalama 215 kg, süt verimi ise 2700-2800 kg/laktasyon düzeyindedir. Oysa gelişmiş ülkelerde bu değerler sırasıyla 270-280 kg karkas ve 5000-6000 kg süt düzeyindedir. 2008'de kanatlı eti üretimi %2,1 artarak 1,1 milyon tona ulaşırken, bunun %96,8'i tavuk, %3,2'si hindi etidir. Yumurta üretimi ise %3,7 artışla 13,2 milyar adede çıkmıştır. Yem bitkilerinin kalite ve çeşit açısından geliştirilmesi gerektiği belirtilirken, hayvan hastalıklarıyla mücadelede koruyucu önlemler alınmalı ve yerli aşı, ilaç ve serum üretimi artırılmalıdır. AB destekli sağlık projelerinin 2010 sonunda tamamlanması planlanmaktadır.(DPT, 2010 YILI PROGRAMI, 2010)

Hayvancılık sektörüne yönelik 2023 yılında önemli destek artışları yapılmıştır. 2022'de 12 bin TL olan çoban desteği, %150 artışla 30 bin TL'ye çıkarılmıştır. Koç ve teke alım desteği, küçükbaş hayvan ıslahını ve sürü kalitesini artırmayı amaçlayarak hayvan başına 2 bin TL olarak belirlenmiştir. Buzağı desteği, 2022'de 900 TL iken 2023'te %133 artışla 2.100 TL'ye yükseltilmiş ve bu destek, 2023'te doğan her buzağı için geçerlidir. Hastalıktan ari işletmelere düve alım desteği %50 hibe oranıyla sunulacaktır. Ayrıca anaç koyun-keçi desteği, 2022'de 50 TL/baş iken 2023'te %100 artışla 100 TL/baş olmuştur. (TİM, 2023)

3.2.1.Türkiye'de Küçükbaş ve Büyükbaş Hayvan Sayıları

Çizelge 1.Hayvan sayıları ve değişim oranları, Aralık 2023-Haziran 2024

	Aralık 2023 (Baş)	Haziran 2024 (Baş)	Değişim(%)
Büyükbaş	16 0583 005	16 554 682	-0,2
Sığır	16 421 256	16 396 168	-0,2
Manda	161 749	158 514	-2
Küçükbaş	52 363 410	53 965 006	3,1
Koyun	42 060 470	43 393 709	3,2
Keçi	10 302 940	10 571 297	2,6

TÜİK verilerine göre, 2024 Haziran ayında büyükbaş hayvan sayısında bir azalma görülmüştür. Sığır sayısı bir önceki yılın Aralık ayına göre %0,2 azalarak 16 milyon 396 bin başa düşerken, manda sayısı %2,0 azalarak 159 bin baş olmuştur. Küçükbaş hayvan kategorisinde ise koyun sayısı %3,2 artarak 43 milyon 394 bin başa, keçi sayısı ise %2,6 artarak 10 milyon 571 bin başa ulaşmıştır. (TÜİK, 2024)

3.3. Türkiye'de Hayvancılık Sektöründe Hibe ve Teşvik Programları

Türkiye'de hayvancılık sektöründe mekanizasyonun artırılması ve modernizasyonun desteklenmesi amacıyla çeşitli hibe ve teşvik programları uygulanmaktadır. Bu destekler, Tarım ve Orman Bakanlığı, Ziraat Bankası ve diğer ilgili kurumlar tarafından sağlanmaktadır. Aşağıda, hayvancılık mekanizasyonuna yönelik başlıca destek programları ve bunların detayları sunulmuştur.

3.3.1. GAP, DAP, KOP ve DOKAP Projeleri Kapsamında Hibe Destekleri

2019-2023 yılları arasında, 10-50 baş büyükbaş ve 100-200 baş küçükbaş hayvan kapasiteli işletmelere yönelik destek programları uygulanmıştır. Başvurular her yıl 1 Ocak - 31 Mart tarihleri arasında İl/İlçe Tarım ve Orman Müdürlüklerine yapılmıştır. Destekler; damızlık erkek hayvan (boğa, koç, teke) alımı, ahır/ağıl yapımı ve tadilatı ile gübre sıyırıcı ve süt sağım makinesi gibi mekanizasyon ekipmanlarını kapsamıştır. Bu yatırımlar için %50 hibe desteği sağlanmıştır. (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019)

3.3.2. Ziraat Bankası Tarımsal Mekanizasyon Kredileri

Ziraat Bankası, tarımsal üretime yönelik yeni ve kullanılmamış tüm mekanizasyon araçları ile ikinci el traktör ve kendi yürür tarım makinelerinin alımını finanse etmek amacıyla krediler sunmaktadır. Bu krediler, tarımsal mekanizasyon araçlarının alımında üreticilere finansman desteği sağlamaktadır. Çayır biçme, balya, silaj, süt sağım makinesi, süt soğutma tankı, yem karma makinesi, pulluk, kültivatör, patoz, mibzer, suluk, yemlik, balık bulucu cihaz, vb. gibi mekanizasyon araçlarının alımına yönelik olarak kredi kullanılabilmektedir. (Ziraat Bankası, 2025)

3.3.3. Sürü Yöneticisi(Çoban) İstihdam Desteği

2023 yılı hayvancılık desteklemeleri kapsamında, 250 ve üzeri anaç küçükbaş hayvana sahip işletmelere, sertifikalı sürü yöneticisi istihdam etmeleri halinde **5.000 TL destek** verilmiştir. Başvurular 26 Kasım 2023'te başlamış, 19 Ocak 2024'te sona ermiştir. Destek, hayvancılıkta verimliliği artırmak amacıyla uygulanmıştır. (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025)

3.3.4. 2019-2024 Yılları Arasında Türkiye'de Hayvancılık Sektörüne Yönelik Çeşitli Destekleme Programları

Bu destekler, hayvancılık faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlamak, üreticilerin mali yüklerini hafifletmek ve sektördeki verimliliği artırmak amacıyla sunulmuştur. Aşağıda, bu dönemde uygulanan başlıca hayvancılık destekleri ve yıllara göre değişimleri özetlenmiştir:

Çizelge 2. Başlıca hayvancılık destekleri ve yıllara göre değişimleri

Destek Türü	2019-2022 Destek Miktarı	2023 Destek Miktarı	2024 Destek Miktarı
Buzağı Desteği	900 TL/baş	2.100 TL/baş (+%133)	1.000 TL/baş
Anaç Koyun ve Keçi Desteği	50 TL/baş	100 TL/baş (+%100)	200 TL/baş
Sürü Yöneticisi (Çoban) Desteği	5.000 TL/işletme	30.000 TL/işletme (+%500)	-
Arıcılık Desteği	10 TL/kovan	100 TL/kovan (+%900)	100 TL/kovan
Besilik Erkek Sığır Desteği	250 TL/baş	500 TL/baş (+%100)	500 TL/baş
Koç ve Teke Alım Desteği	-	2.000 TL/baş	-
Düve Alım Desteği	-	%50 Hibe	-

Bu tablodan, hayvancılık sektöründe devletin sağladığı desteklerin belirgin bir şekilde arttığı görülmektedir. 2019-2022 yıllarında sağlanan desteklerin büyük ölçüde sabit kaldığı, 2023'te ise önemli artışların yaşandığı dikkate değerdir. (TİM, 2023)

Hayvancılık sektöründe sağlanan destekler, üreticilere çeşitli alanlarda teşvikler sunmaktadır. Buzağı desteği, 2023'te %133 oranında bir artış gösterdikten sonra, 2024'te 1.000 TL/baş olarak düşürülmüştür. Anaç koyun ve keçi desteği, 2023'te %100 artarken, 2024'te kuzu ve oğlaklar için daha yüksek destek sağlanacaktır. Sürü yöneticisi desteği, 2023'te %500 oranında artış göstererek çoban istihdamını teşvik etmiştir. Arıcılık desteği, 2023'te %900 artış ile sektöre ilgiyi artırmış, 2024'te ise aynı destek devam edecektir. Besilik erkek sığır desteği, 2023'te

%100 artış gösterirken, 2024'te mevcut destek korunacaktır. Koç ve teke alım desteği, küçükbaş hayvancılık için 2023'te yeni bir destek olarak sunulmuş; ayrıca, düve alım desteği, hastalıktan ari işletmelere %50 hibe desteği sağlanmaktadır. Bu destekler, hayvancılık sektöründe sürdürülebilir üretimi ve verimliliği artırmayı amaçlamaktadır.

Hayvancılık sektöründeki destekler, altyapıyı geliştirerek üretim kapasitesini artırmayı hedefler. Genç ve kadın üreticilere yönelik yardımlar verilirken, işletmelerin verimliliği artırılır. %50 hibe oranıyla ahır yapımı, kapasite artırımı ve ekipman alımları desteklenir. Bu kapsamda süt sağım makineleri, yem hazırlama makineleri gibi araçlar da yer alır.

Çizelge 3.Hibe Konuları ve Üst Limitleri

Hibe Konusu	**Hibe Üst Limiti (TL)**
Büyükbaş hayvan ahırı inşaatı	400.000
Küçükbaş hayvan ağılı inşaatı	345.000
Hayvan barınağı çadırı	110.000
Yem hazırlama makinesi	125.000
Süt soğutma tankı	19.000
Seyyar süt sağım makinesi	2.500
Gübre sıyırıcı	20.000
Hayvan taşıma ünitesi	3.500
Otomatik suluk	1.250

Büyükbaş hayvan ahırı inşaatı için en fazla 400.000 TL, küçükbaş hayvan ağıl inşaatı için 345.000 TL, hayvan barınağı çadır alımı için ise 110.000 TL destek verilmektedir. Hibe programı Türkiye genelinde uygulanmakla birlikte, başvurular ve değerlendirme, bölgesel gelişmişlik, hayvan miktarı, mera potansiyeli gibi kriterlere göre il bazında belirlenen iller için yapılmaktadır. (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

3.3.5. 2024-2026 Döneminde Belirlenen Bazı Destekleme Döneminde Belirlenen Bazı Destekleme Tutarları Ve Koşulları

Tarım ve Orman Bakanlığımızın “Planlı Üretim" kapsamında oluşturduğu yeni destekleme modelini içeren “2024-2026 Yıllarında Yapılacak Hayvancılık Desteklemelerine İlişkin Karar" 26.07.2024 tarih ve 32613 Sayılı Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girdi. (T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Artvin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2024)

Çizelge 4.Temel Hayvancılık Destekleri

Destek Konusu	2024 Yılı Destek Tutarı	Ek Destek Kriterleri ve İlaveler
Büyükbaş Hayvancılık	1.000 TL/baş (Buzağı ve Malak)	Aile işletmeleri, genç ve kadınlar, birinci derece örgüt üyeleri, planlama bölgeleri. Verimlilik kriterlerine ek destekler (suni tohumlama, soy kütüğü, ari işletme, vb.)
Küçükbaş Hayvancılık	200 TL/baş (Kuzu ve Oğlak)	Aile işletmeleri, genç ve kadınlar, birinci derece örgüt üyeleri, planlama bölgeleri. Verimlilik kriterlerine ek destekler.
Arıcılık	100 TL/kovan	Genç ve/veya kadın arıcılar, gezginci arıcılar, birinci derece örgüt üyeleri için ek destek.
İpek Böceği	1.000 TL/kg	Genç ve/veya kadın arıcılar için ilave destek

Çizelge 5.Ürün Geliştirme Destekleri

Destek Konusu	2024 Yılı Destek Tutarı	Ek Destek Kriterleri ve İlaveler
Çiğ Süt	Belirli destek tutarı	Üretim planlama bölgeleri, ari işletmeler ve verimlilik kriterlerine ilave destek.
Besilik Erkek Sığır (Karkas)	500 TL/baş	Karkas ağırlığına göre ek destek (300 kg karkas için ek 2.000 TL).
Tiftik Üretimi	80 TL/kg	Kaliteli tiftik üretimi için ilave destek.

Çizelge 6.Destek Artışları

Destek Konusu	2024 Yılı Destek Tutarı	Önceki Destek Tutarı	Ek Destek Kriterleri ve İlaveler
Buzağı Desteği	4.800 TL/baş	2.068 TL/baş	Aile işletmeleri, kadın ve/veya genç yetiştirici, örgüt üyeliği gibi ek kriterlerle toplam 5.700 TL'ye kadar artış.
Ari İşletme Desteği	77.000 TL	28.680 TL	Hastalıktan ari işletmeler için yüksek oranlı destekler.

Arıcılık Desteği	19.000 TL	6.000 TL	Genç ve/veya kadın, gezginci arıcılar ve örgüt üyeleri için ek desteklerle toplamda 19.000 TL'ye ulaşılabiliyor.
Besilik Erkek Sığır Desteği	15.750 TL	2.500 TL	Aile işletmesi, genç ve/veya kadın yetiştirici, örgüt üyesi gibi kriterlerle toplamda 15.750 TL'ye kadar artış sağlanacak.

Çizelge 7.Süt ve Besilik Materyal Üretim Planlama Bölgeleri

Destek Konusu	Destek Tutarı	İlaveler
Buzağı ve Malaklar	Temel destek + %50 ilave	Üretim planlama bölgesindeki illerde doğan buzağı ve malaklar için ilave destek.
Çiğ Süt	Temel destek + %40 ilave	Planlama bölgesindeki süt üretimi için ek destek.

Çizelge 8.Hastalıktan Ari İşletmeler

Destek Konusu	Destek Tutarı	İlaveler
Dişi Buzağı/Malaklar	Temel destek + 4 kat ilave	Ari işletmelerde doğan dişi buzağı/malaklar için 4 katı kadar ilave destek.
Süt Üretimi	Temel destek + 3 kat ilave	AB onaylı işletmelerde üretilen süt için ilave destek.

Çizelge 9.Tarımsal Araştırma ve Geliştirme Destekleri

Destek Konusu	Destek Tutarı	İlaveler
Damızlık Erkek Materyali (Koç-Teke)	Elit sürü: 1.100 TL, Taban sürü: 650 TL	Hayvan gen kaynakları desteği kapsamında elit ve taban sürüsü için belirli destek tutarları.
Koyun/Keçi Islahı	Elit sürü: 475 TL, Taban sürü: 250 TL	Halk elinde ıslah destekleri için belirlenen tutarlar.

Yerel Sığır Islahı	6.200 TL (Anaç Yerli Sığır)	Yerli sığır ıslahına yönelik destek.
Hayvan Koruma Desteği	Büyükbaş: 4.650 TL, Küçükbaş: 2.350 TL	Hassas koruma için belirlenen destek tutarları.
Arı Koruma	325 TL/kovan	Arı koruma desteği.

Tarım ve Orman Bakanlığı'nın 2024-2026 hayvancılık destekleme modeli, sektörde verimliliği artırmayı ve sürdürülebilirliği sağlamayı hedeflemektedir. Büyükbaş, küçükbaş hayvancılık, arıcılık ve ipek böceği gibi alanlara yönelik temel desteklerin yanı sıra, aile işletmeleri, genç ve kadın üreticiler için ek teşvikler sunulmaktadır. Ayrıca, çiğ süt ve besilik erkek sığır gibi alanlarda artırılan desteklerle üretim hedeflenmektedir.

Hayvancılık destekleri, kaliteyi artırmayı, verimliliği ve sürdürülebilirliği sağlamayı hedefler. Hastalıktan ari işletmelere ek destekler, bölgesel kalkınmayı desteklerken, yerli hayvan ıslahı ve genetik kaynakların korunmasına yöneliktir. Yeni model, genç ve kadın girişimciler ile aile işletmelerine dinamik destek sunar.

3.4. Van İlinde Hayvancılık Destekleri

Van, coğrafi yapısı nedeniyle küçükbaş hayvancılıkta ön plana çıkmaktadır. Bölgedeki hayvancılığı güçlendirmek için devlet çeşitli destekler sunmaktadır. Anaç koyun-keçi desteği, küçükbaş hayvancılığı teşvik ederken, buzağı desteği büyükbaş hayvancılığı desteklemektedir. Ayrıca, mera ıslahı ve yönetimi projeleriyle otlatma alanları iyileştirilmektedir. Çiftçilere, ahır-ağıl yapımı için hibe desteği sağlanmakta ve hayvan hastalıklarının önlenmesi amacıyla aşı ve küpeleme desteği verilmektedir. Bu destekler, hayvancılık sektörünün gelişimi ve sürdürülebilirliğini artırmayı amaçlamaktadır.

3.4.1. Van İlinde Hayvancılık Destekleri Sektöründe Hibe ve Teşvik Programları Van ilinde hayvancılık mekanizasyonunu desteklemek amacıyla çeşitli projeler ve destekler uygulanmaktadır. Bu destekler, bölgedeki hayvancılık faaliyetlerinin modernizasyonuna ve verimliliğin artırılmasına katkı sağlamaktadır. Aşağıda, Van ilinde hayvancılık mekanizasyonu açısından sağlanan bazı destekler ve projeler belirtilmiştir:

3.4.2.Van Büyükşehir Belediyesi'nin Makine Desteği

Van Büyükşehir Belediyesi, çiftçilerin ekim ve hasat işlemlerinde kullanmaları için çeşitli tarım makineleri temin ederek üreticilere destek sağlamaktadır. Bu kapsamda, çift sıralı silaj hasat makinesi, taş toplama makinesi, katı gübre dağıtım makinesi ve modern patos makineleri gibi ekipmanlar çiftçilere sunulmaktadır. Bu destekler, hayvancılık faaliyetlerinde kullanılan yem bitkilerinin hasadı ve işlenmesi süreçlerinde mekanizasyonun artırılmasına katkı sağlamaktadır. (Gazetevan, 2022)



Görsel 1. Van'da Doğu Anadolu Projesi (DAP) kapsamında, çayır biçme makinelerinin %50 hibe desteği ile dağıtımı,2023

3.4.3. "Köyümde Yaşamak İçin Bir 'Sürü' Nedenim Var" Projesi

Hazine ve Maliye Bakanlığı, Tarım ve Orman Bakanlığı ve Ziraat Bankası iş birliğiyle yürütülen projelerle, Van genelinde küçükbaş hayvancılığın geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, besicilere sıfır faizli, bir yıl ödemesiz ve beş yıl vadeli koyun kredisi sunulmaktadır. Ayrıca, 2020'den itibaren uygulanan "Köyümde yaşamak için bir 'sürü' nedenim var" projesiyle 1660 besiciye 165 bin koyun desteği verilmiştir. Bu projeler, küçükbaş hayvan varlığını artırmayı ve hayvancılığa geri dönmek isteyenleri desteklemeyi amaçlamakta, aynı zamanda besicilere ekonomik fırsatlar sunmaktadır.(Anadolu Ajansı, 2024)

3.4.4. Sulama Altyapısının İyileştirilmesi

Van Büyükşehir Belediyesi Tarımsal Hizmetler Daire Başkanlığı, Bahçesaray ilçesinde tarımsal sulama altyapısını iyileştirmek için 7 bin metrelik su borusu desteği sağlamıştır. Bu destek, yem bitkileri üretiminde su teminini kolaylaştırarak hayvancılığı desteklemektedir. Ayrıca, Doğu Anadolu Projesi (DAP) Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığı desteğiyle Van'da hayvancılık altyapısı geliştirilmeye devam edilmekte, **sac sıvatlar** ile büyükbaş ve küçükbaş hayvanların su ihtiyacı karşılanmaktadır. (MARDİNHABER, 2021).

Tarım ve Orman Bakanlığı, kırsal kalkınmayı desteklemek ve hayvancılık sektörünü güçlendirmek amacıyla "Kırsalda Bereket, Hayvancılığa Destek" projesini başlatmıştır. Proje kapsamında, HAYGEM koordinasyonunda TİGEM'e ait etçi ırk gebe damızlık büyükbaş hayvanlar üreticilere verilecektir. Bu destekle, etçi ırk damızlık ve anaç hayvan sayısının artırılması, kırmızı et arzında sürdürülebilirlik sağlanması hedeflenmektedir. Van ilinde özellikle genç ve kadın girişimcilere yönelik uygulanan proje, aile işletmelerinin kapasitesini artırmayı amaçlamaktadır. Bu destekler, ekonomik ve tarımsal kalkınmayı hedefleyen bütüncül bir yaklaşımı yansıtmaktadır. (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2025).

3.4.5.Van İlinde Ahır Yapımı İçin Çeşitli Hibe ve Teşvik Programları

Van ilinde, hayvancılık sektörünü desteklemek amacıyla Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından çeşitli hibe ve teşvik programları uygulanmaktadır. Bu programlar, işletmelerin modernizasyonunu sağlayarak üretim verimliliğini artırmayı hedeflemektedir. Geleneksel

ahırlar modern ve fonksiyonel barınaklarla değiştirilmiş, hayvan refahı ve işletme yönetimi iyileştirilmiştir. Destekler, hayvancılık sektörünün güçlendirilmesi ve sürdürülebilirliğine katkı sunmaktadır.



Görsel 2. Van ili Bahçesaray ilçesinde yer alan tipik bir hayvan barınağı,2024



Görsel 3. Van ili Bahçesaray ilçesinde Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yürütülen 'Hayvancılık Yatırımlarının Desteklenmesi Hibe Programı' kapsamında inşa edilen bir ahır yapısına ait dış mekân görünümü,2024



Görsel 4. Van ili Bahçesaray ilçesinde Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından yürütülen 'Hayvancılık Yatırımlarının Desteklenmesi Hibe Programı' kapsamında inşa edilen bir ahır yapısına ait iç mekân görünümü,2024

3.4.6. Doğu Anadolu Projesi (DAP) Kapsamında %50 Hibe Destekleri

Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından yürütülen Doğu Anadolu Projesi (DAP) kapsamında, Van ilindeki çiftçilere ahır ve ağıl inşaatları için %50 hibe desteği sağlanmıştır. Örneğin, 2018 yılında bu destekten faydalanan çiftçiler, projelerini başarıyla tamamlamışlardır. Bu destek, hayvancılık işletmelerinin altyapısını güçlendirmeyi amaçlamaktadır. (Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü, 2018)

3.4.7. Kırsal Kalkınma Destekleri Kapsamında %50 Hibe Programı

Elde edilen bulgulara göre, Türkiye'deki hayvancılık destekleme programları sektördeki sürdürülebilirliği artırmak ve kırsal kalkınmayı teşvik etmek için önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, bazı sorunlar ve farklılıklar da mevcuttur.

3.4.8. Tarımsal Desteklerin Etkinliği ve Sürdürülebilirliği Üzerine Bir Değerlendirme

Tarımsal desteklerin etkisi, coğrafi ve ekonomik farklılıklara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Özellikle ulaşımı zor ve dağlık bölgelerde, örneğin Bahçesaray gibi ilçelerde, üreticilerin devlet desteklerine erişimi sınırlıdır. Bu bölgelerde düşük düzeyde mekanizasyon, tarımsal verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir (Ünsal, 2020). Küçük ölçekli işletmelerde modern tarım tekniklerinin ve makinelerin kullanım oranı oldukça düşüktür; bu durum sürdürülebilir üretim hedeflerini engellemektedir (Ziraat Bankası, 2025). Son yıllarda hayvancılık desteklerinde artış gözlenmesine rağmen, bu desteklerin uzun vadeli etkileri ve kalıcı katkıları konusunda kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, finansal desteklerin yanında eğitim ve teknik rehberlik de üreticilere sunulmalıdır (Kahraman & Yılmaz, 2024). Küçük çiftçilerin rekabet gücünü artırmak için kooperatifleşme teşvik edilmeli; bu sayede ortak makine kullanımı, yem üretimi ve pazar erişimi gibi alanlarda önemli avantajlar sağlanabilir (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2021).

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Türkiye genelinde hayvancılığa yönelik ciddi destekler verilmekte, ancak bu desteklerin etkinliği bölgeler arasında farklılık göstermektedir. Bahçesaray gibi dağlık ve ulaşımı zor bölgelerde desteklerin etkinliği, bölgenin coğrafi yapısı, altyapı eksiklikleri ve çiftçilerin bilgi düzeyi gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir.

Çiftçilerin tarımsal alet ve makine alımı için kırsal kalkınma yatırımlarına yönelik desteklerin sağlanması, hem tarımsal üretimin verimliliğini artıracak hem de tarımsal teknoloji ve makineler üreten sanayinin gelişimine katkı sunacaktır. Bu tür desteklemelerin, sektördeki paydaşlar, birlikler ve üreticilerle birlikte belirlenen doğru model ve stratejilerle verilmesi önemlidir. Üreticilerin ihtiyaçları ve önerileri doğrultusunda, hangi desteğin nasıl sağlanacağı konusunda yapılan tartışmalar, desteklerin etkinliğini artıracaktır. Ayrıca, geçmişte verilen desteklerin etkisinin araştırılması, gelecekteki destekleme stratejilerini şekillendirecek ve daha verimli bir tarım sektörü için yol gösterici olacaktır. (Ünsal, 2020)

Hayvansal üretimde yenilikçi teknolojilerin kullanımı bir yandan hayvan sağlığı ve refahına katkı sağlarken, diğer yandan daha verimli ve kaliteli hayvansal ürünler elde edilmesi sonucu uzun vadede maliyet azaltıcı etkisi ile hayvansal üretimin ekonomik sürdürülebilirliğine önemli katkılar sağlayacaktır. (Kahraman & Yılmaz, 2024)

Van ilinde küçükbaş hayvancılık yaygın olup, mekanizasyon seviyesi düşük olduğundan çiftçilerin verimliliği artıracak modern ekipmanlara ulaşımı sınırlıdır. Devlet destekleri, özellikle yem, barınak ve hayvan sağlığı konularına odaklanmıştır, ancak çiftçilerin mekanizasyon konusundaki farkındalık ve erişim düzeyi yeterli değildir.

Çiftçilerin mekanizasyon ve modern hayvancılık teknikleri konusunda bilinçlendirilmesi için eğitim programları düzenlenmelidir. Bölgedeki otlatma alanlarının verimliliğini artırmak için mera ıslah projelerine daha fazla yatırım yapılmalıdır.

Küçük ölçekli üreticilerin güçlenmesi için kooperatifleşme teşvik edilerek ortak makine kullanımı ve yem üretimi gibi faaliyetler desteklenmelidir. Bahçesaray'daki çiftçilerin pazarlara erişimini kolaylaştırmak için yol ve altyapı yatırımlarına öncelik verilmelidir.

KAYNAKÇA

Anadolu Ajansı.Van'da besicilere verilen "sürü" desteğiyle hayvan varlığı artırılıyor: https://www.aa.com.tr. (Erişim tarihi:25.10.2023)

Anadolu Ajansı. Van'da 3 yılda besicilere 165 bin koyun desteği verildi. https://www.aa.com.tr . (Erişim tarihi:24.02.2024)

DPT. (2006, Mayıs 15). 2006 Yılı Programı. http://www.bilgitoplumu.gov.tr / (Erişim tarihi:03.02.2025)

DPT. (2010). 2010 Yılı Programı. https://www.sbb.gov.tr / (Erişim tarihi:03.02.2025)

GAZETEVAN. Van Büyükşehir Belediyesinden Üreticilere Makine Desteği: https://www.gazetevan.com.tr/ (Erişim tarihi:12.07.2022)

Tarım ve Orman Bakanlığı. Kırsalda Bereket, Hayvancılığa Destek Projesi Kriter ve Başvuru Şartları. https://www.tarimorman.gov.tr / (Erişim tarihi:05.02.2025)

Kahraman, M., & Yılmaz, H. Sürdürülebilir Hayvancılıkta Yenilikçi Teknolojilerin Kullanımı. Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi, Haziran, 20, 4, 2024

MARDİNHABER. Van Büyükşehir Belediyesinden Bahçesaray ve Çatak'a sac sıvat desteği. https://mardinhaber.com.tr . (Erişim tarihi:14.05.2021)

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı .Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvancılık İşletmelerine Yönelik Yatırımların Desteklenmesi https://www.yatirimadestek.gov.tr/ (Erişim tarihi:09.07.2021)

Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). GAP, DAP, KOP ve DOKAP Projeleri Kapsamında Hibe Destekleri: https://www.tarimorman.gov.tr/ (Erişim tarihi:14.02.2025)

Tarım ve Orman Bakanlığı. Sürü Yöneticisi (Çoban) İstihdam Desteği: https://www.tarimorman.gov.tr/ (Erişim tarihi:14.03.2025)

TİM. (2023, Ocak 1). Türkiye İhracatlar Meclisi. Hayvancılık Destekleri: https://tim.org.tr . (Erişim tarihi:23.01.2023)

TÜİK. (2024, Eylül 17). Hayvancılık İstatistikleri: https://data.tuik.gov.tr / (Erişim tarihi:17.09.2024)

Ünsal, Y. (2020). Türkiye'nin Coğrafi Bölgelere Göre Tarımsal Mekanizasyon Düzeyinin Belirlenmesi. TEPGE. https://arastirma.tarimorman.gov.tr.

Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. 2018 Yılı Dap % 50 2018 Yılı % 50 Ahır –Ağıl Hibe Destekleri Projeleri Tamamlanıyor.: https://van.tarimorman.gov.tr/ (Erişim tarihi:10.12.2018)

Van İl Tarım ve Orman Müdürlüğü. Büyükbaş ve Küçükbaş Hayvancılık İşletmelerine Yönelik Yatırımlar İçin %50 Hibeli Destekleme Başvuruları Başladı: https://van.tarimorman.gov.tr/ (Erişim tarihi:02.07.2021)

Vikipedi Özgür Ansiklopedi. (2024, Eylül 18). Hayvancılık: https://tr.wikipedia.org/wiki/Hayvancılık / (Erişim tarihi:18.09.2024)

Vural, H., & Fidan, H. Türkiye de Hayvansal Üretim ve Hayvancılık İşletmelerinin Özellikleri. Tarım Ekonomisi Dergisi, Aralık, 13, 2, 2007.

Ziraat Bankası. Tarımsal Mekanizasyon Kredileri: https://www.ziraatbank.com.tr/ (Erişim tarihi:14.02.2025)

ŞANLIURFA İLİ CEYLANPINAR İLÇESİ VE MARDİN İLİ KIZILTEPE İLÇESİ BÖLGELERİNDE PAMUK EKİM DURUMU VE PAMUK HASAT MEKANİZASYON SORUNLARI

Azize ÖNER

Harran Üniversitesi /Ziraat Fakültesi

oner74576@gmail.com-orcid.org/ 0009-0008-9876-4741

Prof. Dr. Ramazan SAĞLAM

Harran Üniversitesi/ Ziraat Fakültesi

saglamr@harran.edu.tr-orcid.org/ 0000-0002-6740 8823

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Şanlıurfa İli Ceylanpınar ilçesi ve Mardin İli Kızıltepe ilçesinde pamuk ekim durumunun incelemek ve pamuk üretimi yapan tarım işletmelerinde, pamuk hasat makinelerinin kullanımına bağlı karşılaşılan sorunları incelemektir. Tarım sektöründe, özellikle pamuk üretiminde, makinelerin kullanımı verimlilik açısından önemli avantajlar sağlasa da uygulama süreçlerinde karşılaşılan zorluklar işletmelerin verimliliğini etkileyebilmektedir. Çalışmada, belirlenen bölgelerdeki farklı ölçeklerdeki işletmelerde yapılan gözlemler ve anket için yapılan görüşmeler neticesinde, bazı işletmelerin pamuk hasat makinelerinin iş gücünü azalttığı, hasat süresini kısalttığı ve daha temiz, kaliteli ürün elde edilmesini sağladığı belirtilirken; diğer bazı işletmelerin ise bu makinelerin verim kayıplarına yol açtığını ifade etmiştir. Bu makale, Ceylanpınar ve Kızıltepe ilçelerinde pamuk ekim durumunun incelenmesi ve pamuk hasat makinelerinin verimliliği ve bu makinelerin kullanımına ilişkin karşılaşılan teknik ve ekonomik sorunlar ortaya konmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler :Şanlıurfa-Ceylanpınar, Mardin- Kızıltepe, pamuk, pamuk üretim durumu, pamuk hasat mekanizasyonu, pamuk hasat sorunları.

COTTON PLANTING STATUS AND COTTON HARVEST MECHANIZATION PROBLEMS IN CEYLANPINAR DISTRICT OF ŞANLIURFA PROVINCE AND KIZILTEPE DISTRICT OF MARDİN PROVINCE

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the cotton planting situation in Ceylanpınar district of Şanlıurfa province and Kızıltepe district of Mardin province and to examine the problems encountered due to the use of cotton harvesting machines in agricultural enterprises producing cotton. Although the use of machines in the agricultural sector, especially in cotton production, provides significant advantages in terms of efficiency, the difficulties encountered in the application processes can affect the efficiency of the enterprises. In the study, as a result of observations made in enterprises of different sizes in the determined regions and interviews

conducted for the survey, it was stated that some enterprises' cotton harvesting machines reduced labor, shortened the harvest period and provided cleaner, higher quality products; while some other enterprises stated that these machines caused productivity losses. This article aims to examine the cotton planting situation in Ceylanpınar and Kızıltepe districts and to reveal the efficiency of cotton harvesting machines and the technical and economic problems encountered in the use of these machines.

Key Words: Şanlıurfa-Ceylanpınar, Mardin- Kızıltepe, cotton, cotton production status, cotton harvest mechanization, cotton harvest problems.

1.GİRİŞ

Pamuk, Türkiye'de tarım ve sanayi sektörünün önemli bir ürünüdür ve özellikle Güneydoğu Anadolu Bölgesi, pamuk üretimi açısından stratejik bir öneme sahiptir. Şanlıurfa ili Ceylanpınar ilçesi ve Mardin İli Kızıltepe ilçesi, bölgedeki başlıca pamuk üretim merkezlerindendir. Pamuk üretiminin verimliliği, üretim süreçlerinde uygulanan teknolojilere ve mekanizasyona doğrudan bağlıdır. Bu nedenle, pamuk hasat makineleri, insan iş gücünün yerini alarak tarımsal üretimin hızlanmasına ve daha kaliteli ürün elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca tarımsal üretimde çalışan tarım işçilerinin de rahat ve konforunu artırıcı bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Pamuk üretiminin artan talep ve verimlilik beklentileri doğrultusunda, modern hasat makinelerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak, her teknolojik gelişme gibi, pamuk hasat makinelerinin kullanımı da çeşitli sorunları beraberinde getirebilmektedir. Bu makinelerin kullanımına bağlı karşılaşılan teknik ve ekonomik zorluklar, üretimin sürdürülebilirliğini ve verimliliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, Ceylanpınar ve Kızıltepe ilçelerindeki pamuk ekim durumu ve pamuk hasat makinelerinin kullanımına dair karşılaşılan sorunlar kapsamlı bir şekilde incelenmiştir.

Türkiye 477 438, 4 ha pamuk ekim alanı 2.100.000 tonluk kütlü pamuk üretimi ile Pamuk ülkemizde ve dünya ekonomisinde önemli bir yeri tutan ve birçok sanayi alanının da hammaddesini karşılayan önemli endüstri bitkilerinden biridir (Anonim, 2025a). Ülkemiz pamuk ekim alanı ve üretimi açısından dünyada önemli bir konumdadır. Türkiye pamuk üretiminin tamamına yakını Güneydoğu, Ege, Çukurova ve Antalya bölgesinde yapılmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde GAP projesinin kısmen devreye girmesi ve yeni sulamaya açılan alanların artması ile birlikte makineli pamuk hasadı son yıllarda gündeme gelmiş ve önemli oranda artış göstermiştir. Pamuk tarımı hem kırsal alanda hem de kentlerde gerek tarımı gerekse pamuğa dayalı sanayileri ile önemli bir istihdam kaynağı olarak ta karşımıza çıkmaktadır. Dünyada gelişmiş ülkelerde pamuk hasadı makina ile yapılmasına rağmen ülkemizde bu konudaki çalışmalara son zamanlarda başlanmış ancak işçi bulmadaki sıkıntılar, elle pamuk hasadının getirdiği yüksek maliyet ve pamuk hasat döneminin uzun sürmesi nedeni ile ürünün yağışlara maruz kalması gibi faktörler bu konudaki çalışmaları zorunlu kılmıştır. Avustralya, İsrail ve Amerika'da ekim alanlarının tümü Bulgaristan, Yunanistan ve İspanya'nın büyük bir bölümü makina ile hasat edilmektedir (CHAUDHRY, 1997).Pamuk hasadında da makineli hasadın dekar başına maliyeti elle hasada göre daha düşüktür. Elle hasat yöntemini tercih eden üreticilerin temel sebebi arazi yapısının makineli hasada elverişli olmayışından kaynaklanmaktadır. Makine kullanımı elle toplamaya göre daha fazla kolaylık sağlamaktadır. Makine kullanımı zamandan büyük bir kazanç sağlarken verimlilik konusunda da çok ciddi

katma değerler sağlamaktadır. Günümüzde de gelişen teknoloji ile birlikte tarımda ekimden hasada kadar yapılan bütün işlerde makineler kullanılmaktadır. Bir günde 400–500 işçinin topladığı miktarda pamuğun toplanabilmesi, dolayısıyla kısa sürede toplanabildiğinden yağmur vb. olumsuzluklardan etkilenmemesi, maliyetin daha düşük olması makineli hasadın avantajları iken pamuk hasat makinelerinin satın alma bedellerinin çok yüksek olması en önemli dezavantajdır (İşcan ve ark,2002).

Şanlıurfa'da pamuk ekimi, hem yerel halk için istihdam sağlamakta hem de bölge ekonomisine katkıda bulunmaktadır. Ceylanpınar, Şanlıurfa'nın önemli tarım bölgelerinden biridir ve pamuk üretiminde büyük bir paya sahiptir. Burada makineli pamuk hasadı, geleneksel yöntemlere göre daha fazla yaygınlık kazanmaktadır. Ceylanpınar, makineli pamuk hasadının yaygınlaşmasıyla verimliliğini artırmakta ve pamuk üretiminde rekabet gücünü yükseltmektedir. Bu durum hem yerel ekonomiye hem de tarımsal kalkınmaya önemli katkılar sağlamaktadır. Ceylanpınar, Şanlıurfa'nın önemli tarım bölgelerinden biri olarak pamuk üretimi açısından stratejik bir konuma sahiptir. Ceylanpınar'da geniş tarım arazileri pamuk ekimi için kullanılmaktadır. Bu alanlar, bölgenin iklimi ve toprak yapısı açısından pamuk tarımına uygun özellikler taşır. Pamuk, Ceylanpınar'da önemli bir ürün olup, yıllık üretim miktarı bölgede ekonomik faaliyetler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Türkiye'nin pamuk ekim alanı ve üretim kapasitesinin büyük bir kısmının sadece Şanlıurfa ilinden karşılanması Türkiye özelinde Şanlıurfa'yı önemli bir pamuk üretim merkezi haline getirmektedir. Pamuk üretiminin ekonomik kazanç yönünden yüksek gelir sağlaması Şanlıurfa'da pamuk üretiminin il ekonomisi için önemini ortaya koymaktadır. Ekonomisinin büyük bir bölümü doğrudan veya dolaylı olarak tarıma bağlı olan Şanlıurfa, çiftçilerin büyük bir kısmının pamuk üretimi yapması ve pamuk üretiminden ekonomik kazanç elde etmesi ile ön plana çıkmaktadır. Dünya'da stratejik bir tarımsal ürün olan pamuk az sayıdaki bölgede yetişebilmesine karşın büyük bir üretim potansiyeline sahip olması özelliği ile gelişen dünyanın vazgeçilmez ihtiyaçlarını karşılamaya ve üreticisine hem stratejik hem de ekonomik katkı sağlamaya devam etmektedir. Şanlıurfa ekonomisine de dünyanın diğer üretim alanlarında olduğu gibi hem stratejik hem de ekonomik katkı sağlamaktadır. Şanlıurfa'da pamuk üretimi yapan çiftçilerin pamuk üretimi konusunda tecrübe ve bilgi birikimlerinin olması da Şanlıurfa'daki pamuk üretimini olumlu yönde etkilemektedir. Emek yoğun bir bitki olması ile de bilinen pamuk, Şanlıurfa iline uygun bir endüstri bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Şanlıurfa'nın uygun yetiştirme koşullarını sağlaması ile son dönemlerde Türkiye'de pamuk ekim alanı ve üretimi konusunda Şanlıurfa'nın birinci sırada yer almasında etkili olmuştur. Şanlıurfa ilindeki pamuk ekim alanı ve üretim değerleri 2020-24 yılları için Çizelge 1.'de verilmiştir.

Yıllar	**Alan (ha)**	**Üretim (ton)**
2020	1.287.469	567.251
2021	1.834.608	892.906
2022	2.424.783	1.102.859
2023	2.034.343	881.030
2024	1.960. 797	922.012

Çizelge 1. Şanlıurfa ili 2020 ve 2024 yılları pamuk ekim alanı ve üretim değerleri

(TÜİK, 2025; Anonim, 2025b)

Ceylanpınar, sıcak ve kuru bir iklime sahiptir. Yaz aylarının yüksek sıcaklıkları, pamuk için verim ve kalitesi için uygundur. Ceylanpınar'daki çiftçiler, kullandıkları sulama teknikleri ile pamuk üretiminde başarılı sonuçlar elde etmektedir. Özellikle GAP projeleri, sulama olanaklarını geliştirmiştir. Pamuk, Ceylanpınar ve çevresindeki çiftçiler için önemli bir gelir kaynağıdır. Hem yerel hem de sanayi için ham madde sağlaması nedeniyle bölge ekonomisinde önemli bir rol oynamaktadır. İklim değişikliği, su kaynaklarının azalması ve tarımda karşılaşılan diğer zorluklar, pamuk üretimini etkileyen faktörlerdir. Ceylanpınar'da makineli hasat ve modern tarım tekniklerinin benimsenmesi, verimliliği artırmakta ve üreticilerin rekabet gücünü yükseltmektedir. Ceylanpınar'da pamuk ekimi, bölgenin tarımsal kalkınmasına önemli katkılar sağlamaktadır.

Çizelge 2.'de 2020-2024 yılları arasında Ceylanpınar'daki pamuk ekim alanları, verim ve üretim miktarları verilmiştir.

Yıllar	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Alan (ha)	51,010	57,501	118,76	93,95	97,14
Verim (kg/ha)	490	511	470	433	470
Üretim (bin ton)	24,980	29,4	55,83	40,64	45,651

Çizelge 2. Ceylanpınar 2020 ve 2024 yılları pamuk ekim, verim ve üretim miktarları (TÜİK, 2025; Anonim ,2025b)

Ovada pamuk tarımının geliştirilmesi için su, gübre, bitki besin elementleri ve zararlı popülasyonlarındaki ani değişimler dışında, gerekli olan coğrafi şartların çok uygun olduğunu söylemek mümkündür. Ceylanpınar Ovası pamuğun yetiştirilmesinde neredeyse Akdeniz ve Ege bölgeleri seviyesinde ve hatta hastalık ve zararlılar ile yetiştirme periyodunun uzunluğu ve hasat mevsiminin yağışsız olması gibi konularda da daha fazla üstünlüklere de sahiptir. Örneğin pamuğun eylül ayı içinde ilk hasada gelmesi ve bu ayda yağışın olmaması pamuk tarımının gelişmesi ve yaygınlaşması için büyük bir avantaj kabul edilmektedir. Türkiye'de pamuk hasadının kasım hatta bazen aralığa kadar uzadığı ve yağışlar sebebiyle lif kalitesinin olumsuz

yönde etkilendiği dikkate alındığında, Ceylanpınar Ovasının ve hatta GAP alanının bu yönde daha avantajı olduğunu söylemek te mümkündür.

Kızıltepe ilçesi, Mardin ilinin en önemli tarım bölgelerinden biri olup, özellikle pamuk üretimi konusunda dikkat çekmektedir. Mardin Ovası'nda başlayan pamuk hasadı, Kızıltepe, Derik, Nusaybin ve Artuklu ilçelerinde yoğunlaşmaktadır. Çizelge 3.'te Mardin ili 2020 ve 2024 yılları pamuk ekim, verim ve üretim miktarları verilmiştir. 2022 yılında, bu bölgelerde yaklaşık 40.000 ton pamuk üretimi beklenmiş ve kalite ile verimlilik açısından üreticiler memnun kalmıştır. (Anonim, 2025b; tarimtv.gov.tr)

Yıllar	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Ekilen alan(ha)	74,419	59,541	101,977	81,980	59,049
Verim (kg/ha)	565	555	575	465	525
Üretim (ton)	39,747	32 ,712	54,193	36,204	30,473

Çizelge 3. Mardin ili 2020 ve 2024 yılları pamuk ekim, verim ve üretim miktarları (Anonim, 2025a; TÜİK, 2025b; Anonim, 2025e)

2020 yılında, Kızıltepe ilçesinde 432 çiftçi tarafından 4 412 hektar alanda pamuk üretimi yapılmıştır. Bu, Mardin genelindeki pamuk üretiminin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Ayrıca, Kızıltepe Ticaret Borsası verilerine göre, ilçede pamuk üretimi önemli bir yer tutmaktadır (Anonim, 2025a; TÜİK, 2025b; Anonim, 2025e).

Bununla birlikte, su kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle, suya daha fazla ihtiyaç duyan pamuk gibi ürünlerin ekimi konusunda dikkatli olunması gerekmektedir. 2025 yılından itibaren bazı illerde mısır ekimi yasaklanmış olsa da pamuk ekimiyle ilgili herhangi bir yasaklama getirilmemiştir. Çiftçiler, suyun azalmasının önlenmesi için sulama projelerinin hayata geçirilmesi gerektiğini savunmaktadır. Kızıltepe ilçesi, Mardin Ovası'nda yer alan ve tarıma elverişli topraklarıyla bilinen önemli bir tarım bölgesidir. İlçede, buğday, arpa, mercimek ve mısır gibi ürünlerin yanı sıra pamuk da yaygın olarak ekilmektedir. Özellikle sulamalı tarım sayesinde, pamuk ve mısır gibi yüksek verim ve gelir getiren ürünlerin ekim alanlarında artış gözlemlenmektedir. Kızıltepe ilçesinde, pamuk tarımı önemli bir tarım ürünü olarak yer almaktadır. Geleneksel yöntemlerin yanı sıra, makineli hasat yöntemleri de giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle iş gücü maliyetlerinin yüksek olduğu bölgelerde, pamuk hasat makinelerinin kullanımı tercih edilmektedir. Kızıltepe'deki çiftçiler, makineli hasat yöntemlerinin avantajlarını ve insan işgücü bulma zorluklarının giderek artış gösteriyor olmasını göz önünde bulundurarak, bu hasat teknolojilerine yönelmekte ve yatırım yapmayı düşünmektedirler. Sonuç olarak, Kızıltepe'de pamuk tarımı önemli bir ekonomik faaliyet olup, üretim miktarı ve kalitesiyle bölge ekonomisine önemli bir katkı sağlayan temel tarım ürünü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çizelge 4.'te Kızıltepe ilçesi 2020 ve 2024 yılları arası pamuk ekim alanı, verim ve üretim miktarları verilmiştir.

Yıllar	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
Alan (ha)	40,000	30,000	52,500	35,500	20,000
Verim (kg/ha)	565	555	575	465	525
Üretim (ton)	22 ,400	17 ,701	29 ,110	15, 777	11, 040

Çizelge 4. Kızıltepe ilçesi 2020 ve 2024 yılları arası pamuk ekim alanı, verimi ve üretim miktarları (Anonim, 2025a; TÜİK, 2025b; Anonim, 2025e)

Genel Durum:

Kızıltepe ilçesinde pamuk üretimi 2020-2024 yılları arasında dalgalanmış ve özellikle 2024 yılına ilişkin büyük bir düşüş öngörülmüştür. Hem ekim alanındaki azalma hem de verimdeki düşüş, üretim miktarını olumsuz etkilemiştir. Bu durum, bölgedeki tarımsal stratejilerde ve tarım politikalarında revizyonlar yapılması gerektiğini gösterebilir. 2024 yılında, verimlilik artışı sağlanarak ve ekim alanı genişletilerek üretim kapasitesinin artırılması da mümkün olabilir.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güzel (2010), "Tekstilde Pamuğun Standardizasyonunun Önemi Üzerine Bir Araştırma" adlı tezinde Türkiye'de ki fiyatların diğer ülkelerdeki pamuk fiyatlarından çok daha yüksek olması, yüksek maliyet dolayısıyla üreticilerin başka tarım ürünlerine yönelmesi, pamuğa verilen destek ve primin yetersiz olması, pamuk toplama işçiliğindeki yüksek fiyat ve işçi bulmada yaşanan sıkıntılar, Üreticinin yeterli bilgilere sahip olmaması gibi nedenlerden dolayı Türkiye'de pamuk üretiminin giderek azalmakta olduğunu belirtmiştir.

Yaşar (2003), "Çukurova Bölgesinde Pamuk Tarımında Makineli Hasadın Ekonomik Analizi" adlı tezinde hasat ve hasatla ilgili işçilik maliyetlerinin bazı yıllar %15-20'lere kadar ulaştığını belirtmiştir.

Özmen (2000), "Türk Pamuğunun İhracat Rekabeti ve Uluslararası Piyasalardaki Gelişmelerin Türk Pamuk ve Pamuklu Dokuma Sektörü Açısından Değerlendirilmesi" konulu yüksek lisans tez çalışmasında; Türkiye'de pamuk üretim maliyetlerinin ABD ve Avustralya'nın altında olduğu, Türkiye'nin pamuk ihracat rekabetini sürdürebilmesinde kaliteli pamukta maliyet üstünlüğü yakalaması gerektiği, pamuk ürününün desteklenmesi ile ilgili politikaların yanında tarımsal eğitim ve teknolojik gelişme imkanlarının arttırılması, işçilik sıkıntısı çekilen yerlerde makineli hasada geçişi kolaylaştıracak önlemlerin alınması gerektiği gibi çözüm önerilerinde bulunmuştur.

ICAC (1999)'un, "Cost of production Cotton in The World" adlı raporunda 1998- 1999 pamuk üretim dönemini kapsayan Arjantin, Avusturalya, Bolivya, Çin, Hindistan, Pakistan, Suriye ve Türkiye gibi ülkeler için pamuk üretim maliyetinin karşılaştırması yapılmıştır. ABD ve Zimbabye'de üretimin pahalı, Avusturalya, Pakistan ve Arjantin'de üretimin işgücünün ucuz olması, sulama maliyetlerinin daha düşük olması vb. nedenlerden dolayı daha ucuz olduğu belirtilmiştir.

Terzi ve Kaynak (2019), "Pamukta (Gossypium hirsutum L.) Hasadın Kalite Üzerine Etkisi" başlıklı bir makale yayınlamışlardır. Bu çalışma pamukta makinalı ve elle hasadın kalite üzerine etkilerini belirlemek amacıyla, Aydın ili, Efeler, Koçarlı, İncirliova, Söke, Germencik ve Nazilli ilçelerinde 2016 yılında yapılmıştır. Çalışmada, çırçır randımanı, lif olgunluğu, lif kopma dayanıklılığı, elyaf yansıma değeri, lif çepel sayısı ve lif rengi özellikleri yönünden elle hasadın, lif inceliği ve elyaf sarılık değeri özellikleri yönünden ise makinalı hasadın daha uygun olduğu saptanmıştır.

Özel (2013), "Harran Ovasında Pamuk Hasadında Makine Kullanımı" başlıklı bir makale yayınlamıştır. Şanlıurfa İli Harran Ovasında pamuk üretimi yapan tarım işletmelerinde yapılan bu çalışmada işletmelerin sosyal ekonomik yapısı, arazi ve makine varlığı üzerinde durulmuştur.

Sağlam ve ark. (1999), makineli pamuk hasadı ile ilgili yaptıkları çalışmada, hasat makinesi ile elle yapılan hasat yöntemleri karşılaştırılarak, her iki yöntemde de lif özellikleri, hasat kayıpları, zaman ve maliyet faktörlerini tespit etmişlerdir. Çalışma sonucunda makine ile hasat yapılması durumunda toplam kayıp oranı %10,8 olarak belirlenmiş, elle toplamada ise bu oranın %2 olduğu görülmüştür. Saatlik alan iş veriminin makineli hasatta 1,34 ha/h ve elle hasatta ise 10 Erkek İş Gücü (EİG) ile 0,0187 ha/h olarak hesaplanmıştır. Çalışmada elle hasat edilen pamuktaki lif özelliklerinin makineye oranla daha iyi olduğu da belirtilmiştir.

Işık ve Sabancı (1986) , "Çukurova Bölgesinde Pamuk Üretim Mekanizasyonu ve Sorunları" adlı çalışmalarında, bölgede pamuk tarımının yoğun olarak yapıldığı Adana, Hatay ve İçel illerinde seçilmiş 6 ilçeye (Adana Merkez ilçe, Ceyhan, Karataş, Antakya, Reyhanlı ve Tarsus) bağlı köylerde sulu pamuk birinci el hasat dönemine ait veriler toplanmış, bu verilerin analizleri sonucunda pamuk üretiminde yoğun bir girdi kullanımının olduğu ve üretimin yörelere göre karakteristikleştiğini belirtmişlerdir.

Sabancı ve Işık (1987), "Çukurova Bölgesinde Pamuk Hasat Mekanizasyonu Olanakları" konulu çalışmalarında; pamukta uygun çeşit seçimi, ekim tekniği, defolyant uygulaması, el ve makine ile hasatta iş başarıları, hasat kayıpları, iş kalitesi ve ekonomisine yönelik konuları incelemişlerdir. Araştırıcılar pamuk tarımında teknik yönlü sorunların kısmen çözüldüğünü ve devam eden araştırmalarla çözülebilecek nitelikte olduğunu belirterek, makineli hasat olanaklarını araştırmışlar ve yaygınlaşabilmesi için devlet desteğinin gerekli olacağı sonucuna varmışlardır.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

Şanlıurfa ilinin Ceylanpınar ilçesinde ve Mardin ilinin Kızıltepe ilçesinde faaliyet gösteren pamuk üreticileri ile bir çalışma yapılmıştır. Ceylanpınar ve Kızıltepe bölgelerinde makinalar hasat esnasında yerinde ziyaret edilerek saha incelemeleri yapılmıştır. Bu ziyaretler ve incelemeler esnasında pamuk hasat makinelerin hasada kattığı değerler ve aynı zamanda çiftçilerin mekanizasyon sorunları incelenmiş bu doğrultuda veriler toplanmıştır. Sonuçtan elde edilen tüm bu veriler toplanarak değerlendirilmiştir. Veriler 2024 üretim yılı üretim sezonunda elde edilmiştir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Araştırmada şu sonuçlara ulaşılmıştır; pamuk hasat makinelerinin kullanımı, iş gücünü azaltmakta ve hasat süresini önemli ölçüde kısaltığı saptanmıştır. Ayrıca, makineler, geleneksel yöntemlere göre daha temiz ve kaliteli ürün elde edilmesini de sağlamıştır. Bu durum, pamuk üreticilerinin maliyetlerini düşürüp, daha yüksek verim elde etmelerini mümkün kılmıştır**.** Diğer taraftan, bazı işletmelerde pamuk hasat makinelerinin kullanımı, verim kayıplarına da yol açtığı saptanmıştır. Bu kayıpların başlıca sebepleri arasında makinalı hasada uygun çeşit seçimi yapılamaması ve uygun ekim geometrisi, yetiştirme, çapalama ve sulama, bakım işlemleri ile yaprak döktürücü uygulamaların makinalı hasada uygun yapılmaması, hasat makinelerin bakım ve onarım maliyetlerinin yüksek olması, makinelerin yerel koşullara uygun olmaması ve operatörlerin yeterli deneyime sahip olmamaları olduğu başlıca tespit edilen önemli konular olarak karşımıza çıkmıştır. Ayrıca, hasat makinelerinin çalıştığı alanlarda toprak yapısı ve pamuk bitkisinin büyüme koşulları ve hasadın yağışlı dönemlere sarkması da makinelerin verimliliğini etkileyen önemli faktörler arasında yer almıştır**.** Pamuk hasat makineleri, iş gücünü azaltmak, hasat süresini kısaltmak ve kaliteli pamuk üretmek açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Çalışmada yer alan bazı işletmeler, pamuk hasat makinelerinin bu avantajlardan faydalandıklarını ve makinelerin verimliliği artırdığını belirtmişlerdir. Özellikle büyük ölçekli işletmeler, pamuk hasat makineleri sayesinde iş gücü maliyetlerini azaltmış, hasat sürecini hızlandırmış ve daha temiz, kaliteli pamuk elde etmiştir. Ayrıca, makinelerin pamuk toplama kapasitesinin yüksek olması, üretim süreçlerinde zamanın iyi kullanılmasını ve erken hasadı sağlayarak işgücü ve zaman kullanımı bakımından tasarruf ve avantaj da sağlamıştır.

Bununla birlikte, bazı işletmeler, pamuk hasat makinelerinin verim kayıplarına neden olduğunu da ifade etmişlerdir. Bu işletmeler, makinelerin kullanımının bazı teknik ve ekonomik engellerle karşılaştığını belirtmişlerdir. Örneğin, bazı bölgelerde pamuk bitkilerinin boyunun kısa olması veya arazinin düzensiz yapısı, makinelerin erimli çalışmasını ve etkinliğini olumsuz yönde etkileyebildiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, makinelerin yüksek bakım maliyetleri, çiftçilerin bu makineleri etkin bir şekilde kullanmalarını da engellediğini açıklamışlardır. Tarımsal üretimde hasat işlemi üretimin son basamağıdır. Toprak hazırlığı, ekim ve bakım yöntemleriyle bitkisel üretimde sağlanan ürünün veriminde, hasadın uygun bir şekilde yapılması ile ekonomik olarak bir geri dönüş sağlanabilmektedir. Mevcut pamuk üretiminde en büyük maliyet unsurlarından bir olarak hasat karşımıza çıkmaktadır. Türkiye'de uzun yıllardan beri toplam üretim maliyetinin %10-15 sınırları arasında değişen pamuk hasat maliyetleri, son yıllarda tarım işçisi bulma güçlüğü ile birlikte hızla artma eğilimine girmiştir. İnsan işgücü maliyetlerindeki bu artış ile makinalı toplama maliyetlerinin birbirine yaklaşması ve son yıllarda elle toplama maliyetinin altına inmesi ile birlikte elle toplamada hasat işçisi bulunamaması nedeniyle son yıllarda makinalı pamuk hasadı hızla ön plana çıkmıştır. Biçerdöverle müteahhitlik sistemi ile yapılan hububat hasadında olduğu gibi, son 10 yıl içinde makinalı pamuk hasadında da müteahhitlik sistemi yaygınlaşmaya başlamıştır. Ülkemizin %50 pamuk üretimini karşılayan, önemli bir pamuk üretim bölgesi olan Güneydoğu Anadolu Bölgesinde elle pamuk hasadının yaratmış olduğu zorluklara çözüm olarak, son yıllarda makinalı pamuk hasadı yaygınlaşmaya başlamış ve tarımsal işletmeler tarafından aranır ve istenir bir konuma çok hızlı bir şekilde gelmiş ve çiftçiler tarafından uygulanmaya başlamıştır. Pamuk hasadında yaşanan en büyük sorunlardan biri, arazi yapısının mekanizasyona tam olarak

uygun olmamasıdır. Büyük ölçekli tarım işletmelerinde mekanizasyon yaygın olsa da küçük ve parçalı arazilerde makineli hasat verimli şekilde uygulanamamaktadır. Parsellerin düzensiz ve küçük olması, makinelerin hareket kabiliyetini kısıtlamakta, dolayısıyla çiftçileri manuel hasada yönlendirmektedir. Geçmişte pamuk hasat makinesine uygun çeşitlerin yetersizliği de makine kullanımını olumsuz etkilemiştir. Sonuçta uygun olmayan çeşitlerin hasat edilmesi ile makine verimli çalışamamakta ve tarla kayıpları artmaktadır. Hasat makinesi kullanımı ile ortaya çıkan kayıpların maliyet hesaplarına üretim değeri kaybı olarak eklenmesi sonucunda üretim maliyetleri yükselmektedir. Daha önce pamuk çeşitleri ile ilgili bu sorunların yaşanmasına rağmen, günümüzde makineli hasada uygun çeşitler üzerinde yapılan çalışmalar sonucu önemli gelişmeler elde edilmiştir.

Ceylanpınar bölgesinde yapılan incelemelerde pamuk hasadını makine ile yapan üreticilerin, işçiliğin azaldığı, makinalı hasattan elle toplamaya göre daha temiz ve kaliteli pamuk elde edildiği ve hasadın daha kısa sürede tamamlanabildiğini ifade etmişlerdir. Diğer taraftan da bazı işletmelerde, makinalı hasatta pamuğun bir kısmını bitki üstünde kaldığını ifade ederek, pamuk hasadını elle toplayan çiftçilerimizin bu durumun üreticileri elle toplamaya mecbur bıraktığı görüşünü belirtmişlerdir. Ceylanpınar bölgesinin bir kısım köylerinde yapılan incelemelerde üreticilerin makinalı hasat sonrası tarlada ve bitki üstünde kalan pamuğu kendi imkanlarıyla elle topladığı da birçok alanda görülebilmektedir.

Kızıltepe bölgelerinde yapılan incelemelerde ise pamuk üreticilerinin makinalı hasattan memnun olduğu, makinalı hasadın her ne kadar pamuğu bitki üzerinde bıraktığı söylense de, çiftçilerin işçi bulmadaki zorlukları ve işçi ücretlerinin makinalı hasada göre daha yüksek olması nedeniyle ve aynı zamanda işçilerin pamuğu toplarken sap ve yapraklarıyla beraber alması sonucu lif kalitesinin düşürmesinin de üreticiyi makinalı hasada yönlendirdiği ifade edilmiştir. Pamuk tarımı, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ekonomik açıdan büyük bir öneme sahiptir. Özellikle Ceylanpınar ve Kızıltepe bölgelerinde geniş tarım arazilerinde pamuk üretimi yaygın olarak yapılmaktadır. Ancak, hasatta mekanizasyonun yeterince yaygınlaşmaması, iş gücü bağımlılığını artırmakta ve üretim maliyetlerini yükseltmektedir. Mekanizasyonun sağladığı verimlilik avantajlarına rağmen, çiftçilerin çeşitli zorluklarla karşılaşması, makine kullanımının yaygınlaşmasının önündeki en önemli engellerden biri olarak saymak mümkündür.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Kızıltepe ve Ceylanpınar bölgelerinde pamuk ekimi, bölge ekonomisinin önemli bir parçasıdır. Ekim dönemlerinde çiftçiler, uygun iklim koşulları ve sulama imkanları ile başarılı bir üretim yapmayı hedeflemektedir. Ancak ekonomik zorluklar ve çevresel faktörler, pamuk üretiminin sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Çiftçilerin daha verimli ve çevre dostu yöntemlerle üretim yapabilmesi, bu bölgelerdeki pamuk üretiminin gelecekteki başarısını belirleyecektir. Kızıltepe ve Ceylanpınar bölgelerinde pamuk, sadece tarımsal üretim değil, aynı zamanda bölge ekonomisinin temel taşlarından biridir. Pamuk, girdi sağladığı iş kolları ile birlikte, yerel sanayinin de önemli hammaddelerindendir. Özellikle pamuk işleme tesisleri ve tekstil sanayi, bu bölgelerde önemli bir istihdam kaynağı oluşturur. Pamuk üretimi aynı zamanda bölgedeki küçük ve orta ölçekli çiftçilerin geçim kaynağıdır. Pamuk üretiminin yüksek olduğu yıllarda, bu bölgelerdeki çiftçiler, yalnızca iç pazar değil, dış pazar için de üretim yaparak ekonomik

kazanç sağlarlar. Bununla birlikte, pamuk üreticilerinin karşılaştığı fiyat dalgalanmaları, onları üretim maliyetlerini optimize etmeye ve yeni pazarlara açılmaya zorlamaktadır.

Sağlam ve ark. (1999) tarafından yapılan bir araştırmada, hasat makinesi ile saatte 13,4 da/h arazinin hasat edilebildiği ve 5.092 kg/h pamuğun toplanabildiği hesaplanmıştır. Erkek İşgücü Birimi (EİG) cinsinden bir kişi ise saatte 0,0187 da/h araziyi hasat edebilmekte ve 7,227 kg pamuk toplayabilmektedir. Bu araştırma bulgularından hareketle bir pamuk hasat makinesinin günde en az 700 işçinin EİB cinsinden işini yapabileceği de söylenebilir. Türkiye'de pamuk tarımında elle hasat döneminde hasat işçisi bulmada yaşanan zorluklar ve işgücü maliyetlerinin yükselmesi, üreticileri makinalı hasada doğru yönlendirmektedir (Işık ve Sabancı, 1988; Evcim ve Öz, 1997). Evcim (1996), Türkiye'de yüksek kapasiteli hasat makinalarının kullanıldığı bu makinaların büyük üretim alanlarında ve uzun kullanım sürelerinde ekonomik olduğunu ifade etmiştir. Ören ve Yaşar (2003), makineli hasadın hasat giderlerini %29 oranında azaltmasına karşın, pamuk ekili alanların küçük ve parçalı yapıda olması, hasat makinesi fiyatlarının yüksek olması, yeterli sayıda pamuk hasat makinesi operatörü bulunmaması ve ücretlerin yüksek olmasının makineli hasat uygulamasının yaygınlaşmasında yaşanan sorunlar olduğunu ayrıca makineli hasadın yaygınlaşmasının ise işsizlik sorununa neden olacağını ve yeni istihdam olanaklarının geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ülkemizde yapılan pamuk üretiminde, çapalama, seyreltme ve hasat dönemlerinde yoğun iş gücüne gereksinim duyulmaktadır. Toplam işgücü gereksiniminin %42,2'si çapalama, seyreltme gibi bakım işlemlerinde %53,6'sı ise hasat işlemlerinde kullanıldığı ortaya konmuştur. Bu hasat oranlarının değişik bölgelerde arttığı görülmektedir (Öz, 2000). Genel olarak toplam iş gücü gereksinimin 2/3'ünün kullanıldığı hasat dönemi üretim girdileri içinde de önemli bir paya sahiptir (Öz, 2000).Güneydoğu Anadolu'dan gelen mevsimlik işçilerin de GAP enerji ve sulama projesinin devreye girmesi ile birlikte azalması ve onların çalıştırılmasındaki sosyal güçlükler hasattaki işçilik maliyetini arttırmaktadır. Ülkemizde son yıllarda yaşanan ekonomik krizler ve pamuk satış fiyatlarının dünya piyasalarındaki fiyat oluşumlarına paralel olarak bazı yıllarda üretim maliyetlerinin altında kalması nedeni ile üretici, pamuk yerine başka ürünlerin tarımına yönelmiştir (Demirtaş, 2006). Ülkemizde, bölgelere göre üretimi yapılan ticari çeşitler hem verimli hem de randımanı yüksek çeşitlerdir. Dolayısıyla pamuk üretimini arttırmak için verimde fazla bir artış sağlanamayacağından, üretimde sağlanacak artış ancak pamuk üretim alanlarının artışına ve iyi yetiştiricilik işlemlerine bağlı olabilmektedir. Türkiye'de pamuk üretiminin gelişmesi büyük ölçüde makinalı hasada geçişin başarı ile yapılmasına bağlı hale gelmiştir. Bu geçişin başarısı ise yüksek performansa sahip hasat makinası örneklerinin seçilip Türk tarımına kazandırılması ve mevcut üretim tekniklerinin çeşit, arazi seçimi, bitki sıklığı, ekim şekli, sıra arası mesafe, yabancı ot kontrolü, bitki büyüme düzenleyicileri ve hasada yardımcı kimyasalların kullanımı gibi makinalı hasada adaptasyonu çalışmalarına da bağlı olduğu açıktır (Aksoy, 1999).Makinaların toplama ünitelerinin sıra aralıkları incelendiğinde Türkiye'de pamuk tarımında yaygın kullanılan 70-80 cm sıra aralığına uygun tiplerin bulunabildiği gibi, daha geniş sıra aralıklarında ve makinalı hasat koşullarına uygun şekilde makinalar da görülebilmektedir. Bu nedenle, ülkemiz koşullarına uygun, daha ekonomik makine tipinin seçilmesi ve işletilmesi ya da geliştirilerek ülkemiz şartlarına göre dizayn edilerek üretilmesi da büyük önem taşımaktadır. Makinalı hasada uygun pamuk çeşidinin orta boylu, yüksek verimli, kozaları tam açık ve kozaları yerden daha yüksek oluşan ve liflerinin

sıyırıcı-toplayıcı iğlere sarılabilecek uzunlukta olması gereklidir. Ekim şeklinin makinalı hasada uygun olabilmesi için sıra aralığının pamuk hasat makinasının sıra arasına uyumlu olması da gerekmektedir. Pamuk hasat makinasında sıra sayısı 4 olduğunda ekim işleminde 4 veya 4 ün katı sıraya sahip pamuk ekim makinaları ile ekimin yapılması hasat açısından da kolaylık ve uyum sağlayacaktır. Ya da dönüşlerde markör ayarının çok iyi yapılması ile sıralar arası bitki mesafesinin makinaya uyumlu olması sağlanabilir.

Yabancı ot, hastalık ve zararlı kontrolü gibi bakım işlemleri makinalı hasatta önemli etkiye sahiptir. Özellikle yabancı ot kontrolünün iyi yapılması etkili bir hasat yapmanın yanında lif kalitesini de olumlu yönde etkilemektedir. Bitki üzerindeki yaprakların döktürülerek kütlü pamuğa karışmasının önlenmesi, bu sayede çırçırlamada da kolaylık sağlamakta ve kozaların eş zamanda olgunlaşmalarını sağlayarak makinalı hasadın iş başarısını artırmaktadır Önal,1990).Pamuk üretiminde mekanizasyonun yaygınlaştırılması için çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Küçük ve parçalı arazilerin birleştirilmesi, makineli tarımın daha etkin bir şekilde uygulanmasını sağlayacaktır. Arazi toplulaştırma çalışmaları hızlandırılarak modern tarım tekniklerinin yaygınlaştırılması teşvik edilmelidir. Ayrıca, çiftçilerin yüksek makine maliyetlerini azaltabilmesi ve hasadı makinalı yapabilmeleri için kooperatifleşme ve tarıma yönelik birlikler ile ortak makine kullanımı ile müteahhitlik sistemleri teşvik edilmeli, ortak makine kullanımına yönelik sistemler ülkemize ve bölgelerimize uygun olarak geliştirilmelidir. Makinalı hasada uygun pamuk çeşitlerinin yaygınlaştırılması, makineli hasatta verim kayıplarını azaltacaktır. Aynı zamanda, çiftçilere yönelik eğitim programları düzenlenerek mekanizasyonun avantajları hakkında farkındalık artırılmalıdır. Devlet desteklerinin artırılması ve çiftçilere uygun finansman seçeneklerinin sunulması, pamuk tarımında mekanizasyonun gelişimini hızlandıracaktır.

Ceylanpınar ve Kızıltepe gibi geniş tarım arazilerine sahip bölgelerde pamuk hasadında mekanizasyon düzeyinin artırılması, üretim maliyetlerini düşürerek, pamuk tarımının daha sürdürülebilir hale gelmesine katkı sağlayacaktır. Makineleşmenin yaygınlaştırılması, hem iş gücü maliyetlerini azaltacak hem de üretim verimliliğini artırarak bölgesel kalkınmaya önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKÇALAR

Aksoy, E., 1999. Pamuk Tarımında Makinalı Hasat. Tarım ve Köy işleri Bakanlığı Raporu, 10s., Ankara.

Anonim, 2025a. TÜİK Türkiye pamuk ekim alanı, https://data.tuik.gov.tr

Anonim, 2022.Kızıltepe ilçesindeki pamuk üretim durumu, https://mardin.tarimorman.gov.tr

Anonim, 2020. Kızıltepe bölgesinin pamuk üretim durumu (tarımtv.gov.tr)

Anonim, 2025b. Ceylanpınar bölgesi 2020ve 2024 yılları arası pamuğun ekim alanı, üretimi ve verim miktarları, Ceylanpınar ilçe Tarım ve Orman Müdürlüğü Kayıtları.

Anonim, 2025c. Kızıltepe bölgesinin pamuk ekim durumu, https://mardin.tarimorman.gov.tr

Anonim, 2025d. Makinalı Pamuk Hasadı Haberler, https://www.tarlasera.com/haber-12073-makineli-hasat-pamugun-kitabini-bastan-yaziyor

Anonim, 2025e. Kızıltepe Bölgesi 2020ve 2024 yılları arası pamuğun ekim alanı, üretimi ve verim miktarları Kızıltepe İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü verileri, Mardin.

Chaudhry, M.R., 1997. Harvesting and Ginning of Cotton in the World. Beltwide Cotton Conference Vol: 2, 1617-1619

Demirtaş, M., 2006. Traktöre Monte Edilebilir Tip Pamuk Hasat Makinasının Bazı Pamuk Çeşitleri Üzerindeki Performansının Belirlenerek Ekonomik Analizinin Yapılması. Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 20-25s. Aydın.

Evcim, HÜ., 1996. Pamuk Toplama Makinaları ve Türkiye' de Pamuk Tarımının Makinalı Hasada Uyarlanması, Büyük Menderes Ovası ve Deltasında Tarım ve Çevre Sorunları Sempozyumu Bildiri Kitabı, 53-69.

Güzel, G., 2010. Tekstilde Pamuğun Standardizasyonunun Önemi Üzerine Bir Araştırma. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, s:169, Adana

Icac, 1999. Cost of Production in The World. (www.icac.org)

Işık, A., Sabancı, A., 1986. Çukurova Bölgesinde Pamuk Üretim Mekanizasyonu ve Sorunları. Tarımsal Mekanizasyon 10. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, Sy: 148-161, Adana.

Işık, A., Sabancı, A., 1987. Çukurova Bölgesinde Pamuk Toplama İşçiliği ve Makineli Hasatla Kıyaslamaya Yönelik İşletmecilik Verilerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi 2(2).

Işık ,A, Sabancı, A., 1988. Pamuk Hasat Makinaları ve Çalışma Esasları, III. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu Bildiri Kitabı, 424 -433.

İşcan, S., Gültekin, E., Özbilgili, A, İ., Yaşar, A., Tepeli., M., E., Karslı, Z., ve Karataş, T., 2002. Pamuk Mekanizasyonu ve Çırçır Makineler. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Adana Zirai Üretim İşletmesi ve Personel Eğitim Merkezi Müdürlüğü, Adana.

Önal, İ., 1990. Ege Bölgesi Koşullarında Pamuk Tarımı Mekanizasyonunda Gelişmeler. TYUAP Toplantısı, 13s. İzmir.

Özmen, F., 2000. Türk Pamuğunun İhracat Rekabeti ve Uluslar Arası Piyasalardaki Gelişmelerin Türk Pamuk ve Pamuklu Dokuma Sektörü Açısından Değerlendirilmesi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana.

Ören, M.N., Yaşar, B., 2003. Türkiye'de Pamuk Hasat Makinesi Kullanımının Ekonomik ve Sosyal Açıdan Değerlendirilmesi. Türkiye VI. Pamuk, Tekstil ve Konfeksiyon Sempozyumu Bildirileri, 24-25 Nisan 2003, Antalya, 175-181,

Öz, E., 2000. Ege Bölgesi Koşullarında, Makina ile Pamuk Hasadında Kantitatif ve Kalitatif Performansların Belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 20-25s., İzmir.

Özel, R., 2013. Harran ovasında pamuk hasadında makine kullanımı. Harran Ü.Z.F. Derg, 17(1): 7-13.

Sağlam, R., Polat, R., Kızıl, A., ve Sağlam, S., 1999. Harran Ovasında Makineli Pamuk Hasadı Üzerine Bir Araştırma. GAP I. Tarım Kongresi, 26-28 Mayıs 1999, S:497- 502, Şanlıurfa

Terzi, H., Kaynak M.A., 2019. Pamukta (Gossypium hirsutum L.) hasadın kalite üzerine etkisi. ADÜ Zir Fak Derg, 16(1): 27-33.

TÜİK, 2025a. Ceylanpınar bölgesi 2020ve 2024 yılları arası pamuğun ekim alanı, üretimi ve verim miktarları Ceylanpınar ilçe Tarım ve Orman Müdürlüğü Kayıtları.

TÜİK, 2025b. Kızıltepe bölgesi 2020ve 2024 yılları arası pamuğun ekim alanı, üretimi ve verim miktarları, Mardin.

TÜİK, 2025c. Şanlıurfa Tarım ve Orman Müdürlüğü Şanlıurfa bölgesi 2020 ve 2024 yılları arası pamuğun ekim alanı, üretimi ve verim miktarları, Şanlıurfa.

Yaşar, B., 2003. Çukurova Bölgesinde Pamuk Tarımında Makineli Hasadın Ekonomik Analizi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2195 nolu Yüksek Lisans Tezi, 2003, Adana.

ÇİNKO OKSİT PARÇACIKLARI İLE SODYUM BOR HİDRÜRDEN HİDROJEN ÜRETİMİ

Şevval KARAÇUKA
Amasya Üniversitesi,
sevval.karacuka@icloud.com - 0009-0002-4482-8734

Doç. Dr., LEVENT SEMİZ
Amasya Üniversitesi,
levent.semiz@amasya.edu.tr - 0000-0002-3218-4663

ÖZET

Yenilenebilir enerji dünyadaki enerji krizi için anahtar rol oynamaktadır. Sınırlı kaynaklar ve çevresel etkileri nedeniyle enerji talebi fosil yakıtlara bağımlı kalmamak durumundadır. Yenilenebilir enerjiler arasında hidrojen enerjisi yüksek enerji yoğunluğu, anlık enerji sağlama kapasitesi ve sıfır emisyon özellikleri sayesinde en gelecek vadeden seçenek olarak ön plana çıkmaktadır. Pozitif yönlerinin yanı sıra, giderilmesi gereken dezavantajlara da sahiptir. Bunlar arasında depolama problemi başı çekmektedir. Hidrojeni gaz ya da sıvı formda depolamak için yüksek basınçlı tanklara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu da taşıma ve maliyet problemlerini beraberinde getirmektedir. Fakat kimyasal hidrürler bu problemlere bir çözüm olabilecek özelliklere sahiptir. Basınçlı tanklara ihtiyaç duymadan yüksek hidrojen yoğunluğu sağlayabilmektedirler. Diğer yandan, bu kimyasallara bağlı hidrojenin salınımı ve hidrojenin içinde depolanmış kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine çeviren yakıt pillerinde kullanımı için katalizöre ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma kapsamında çinko oksit parçacıklarının sodyum bor hidrürden hidrojen üretiminde kullanılabilirliği test edilmiştir. Üretilen parçacıkların hidrojen üretim performansı 133 ml H_2 $g_{katalizör}^{-1}$ dk^{-1} olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sodyum bor hidrür, çinko oksit, hidrojen

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların tükenmesi ve sera gazı emisyonlarının uzun dönemli çevresel etkileri nedeniyle hidrokarbon yakıtlardan yenilenebilir, çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçiş zorunluluk halini almış durumdadır [1-4]. Sıfır emisyonlu enerji taşıyıcısı olan hidrojen de yenilenebilir enerji alanındaki en önemli konulardan biridir [5-7]. Hidrojen ana olarak yakıt pillerinde kullanılmaktadır. Yakıt pili yakıt içerisindeki kimyasal enerjiyi doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir elektrokimyasal enerji dönüştürücüsüdür. Kullanılan yakıtı tek basamakta elektrik enerjisine dönüştürür. Sisteme yakıt beslendiği sürece elektrik enerjisi üretmeye devam eder.

Elektrokimyasal reaksiyonlar anot ve katotta aynı anda meydana gelir.

Anot reaksiyonu: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

Katot reaksiyonu: $2H^+ + ½\ O_2 + 2e^- \rightarrow H_2O$

Toplam reaksiyon: $H_2 + ½\ O_2 \rightarrow H_2O$

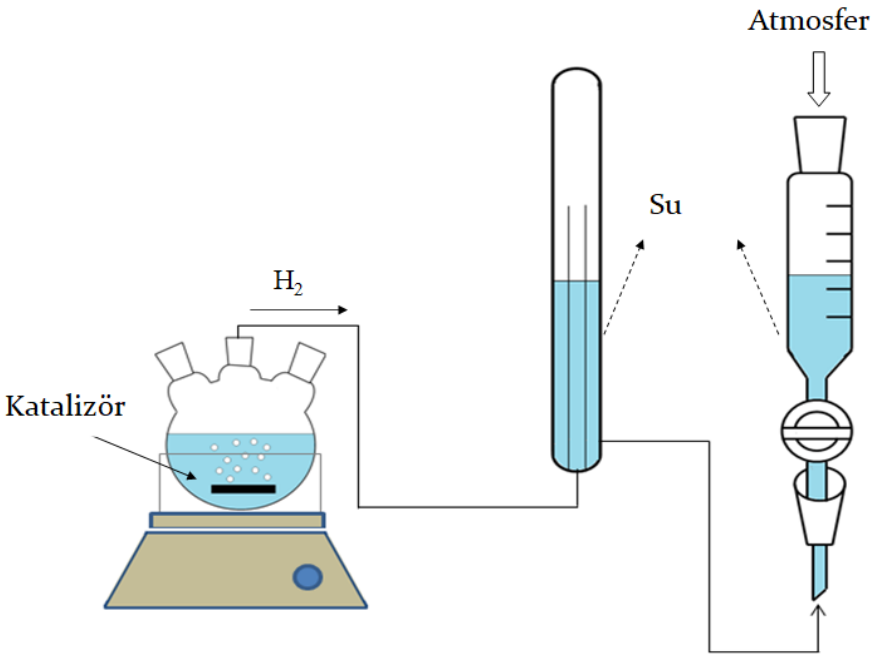
Görüldüğü üzere hidrojen ve oksijenin reaksiyonundan tek basamakta elektrik enerjisi elde edilmekte ve atık olarak ise sadece su üretilmektedir. Yakıt pilleri yüksek güç uygulamalarından düşük güç uygulamalarına kadar geniş bir yelpazede kendine yer bulmaktadır.

Hidrojenin yaygınlaşmasındaki en büyük engel depolama konusudur. Gaz formda depolanan hidrojen yüksek besleme hızlarına sahip olsa da birçok dezavantaj barındırmaktadır. Bunlar arasında düşük hacimsel ve kütlesel hidrojen yoğunluğu, basınçlı konteynerlerin depolama ve taşıma sorunları, yüksek depolama hacimleri sayılabilir. Gaz formun yanı sıra hidrojen kimyasal hidrür olarak katı formda da depolanabilir. Bu yöntem yüksek hacimsel ve kütlesel hidrojen yoğunluğu, güvenli, kolay depolama ve taşıma, düşük depolama hacimleri gibi avantajlar sağlar [8-12]. Fakat yüksek hidrojen besleme hızları için katalizör kullanımına gereksinim vardır.

Bu çalışma kapsamında da çinko oksit (ZnO) parçacıkları sentezlenmiş, sodyum bor hidrürden ($NaBH_4$) hidrojen üretiminde katalizör olarak kullanılmış ve hidrojen üretim performansı incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

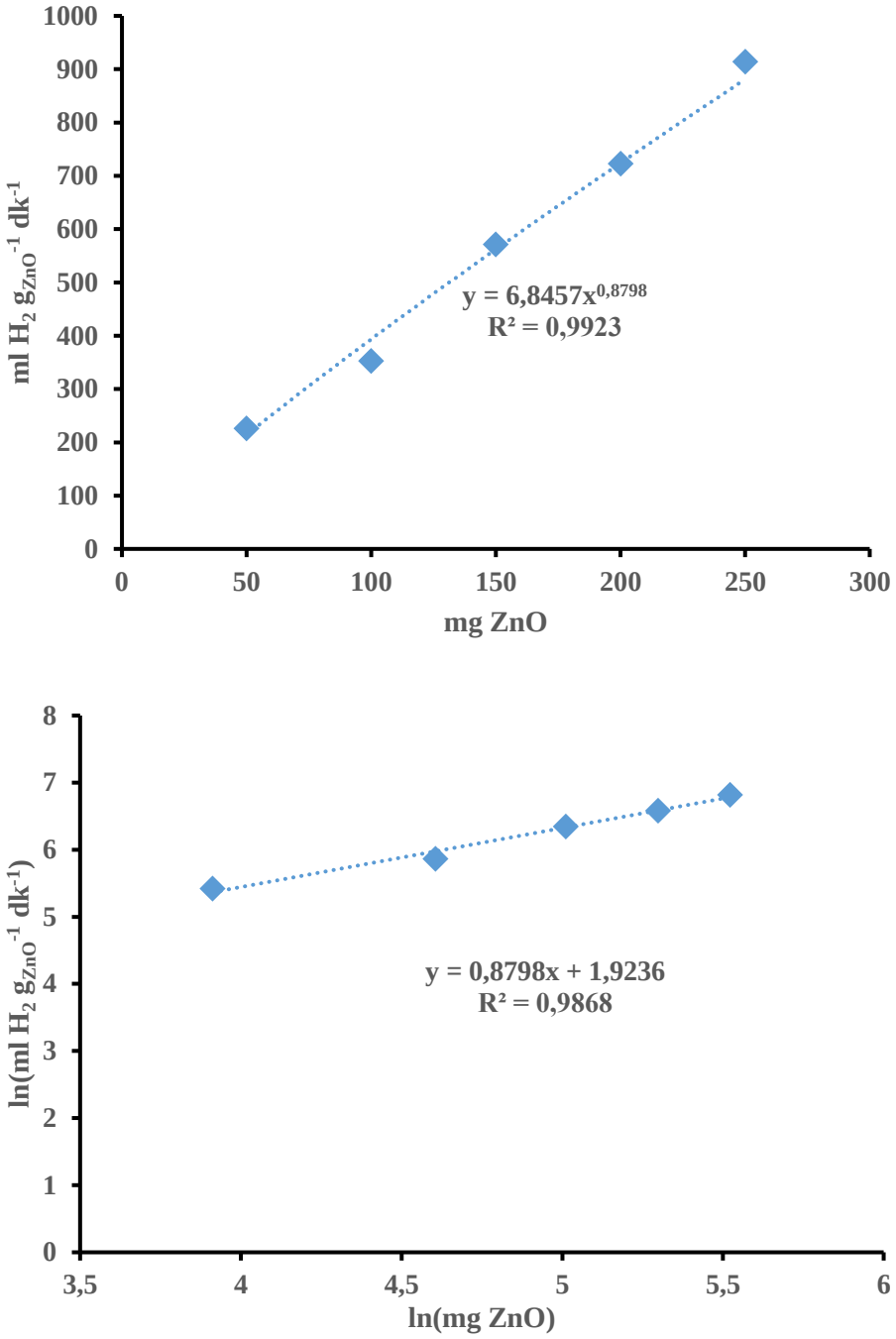
Çinko oksit parçacıkları $ZnCl_2$ kaynağından bazik ortamda sentezlenmiştir. Elde edilen parçacıklar yıkanıp kurutulduktan sonra herhangi bir işleme tabi tutulmadan sodyum bor hidrürden hidrojen üretiminde doğrudan kullanılmıştır. Hidrojen üretim hızı ölçüm sistemi Görsel 1'de yer almaktadır.



Görsel 1. Hidrojen üretim hızı ölçüm sistemi

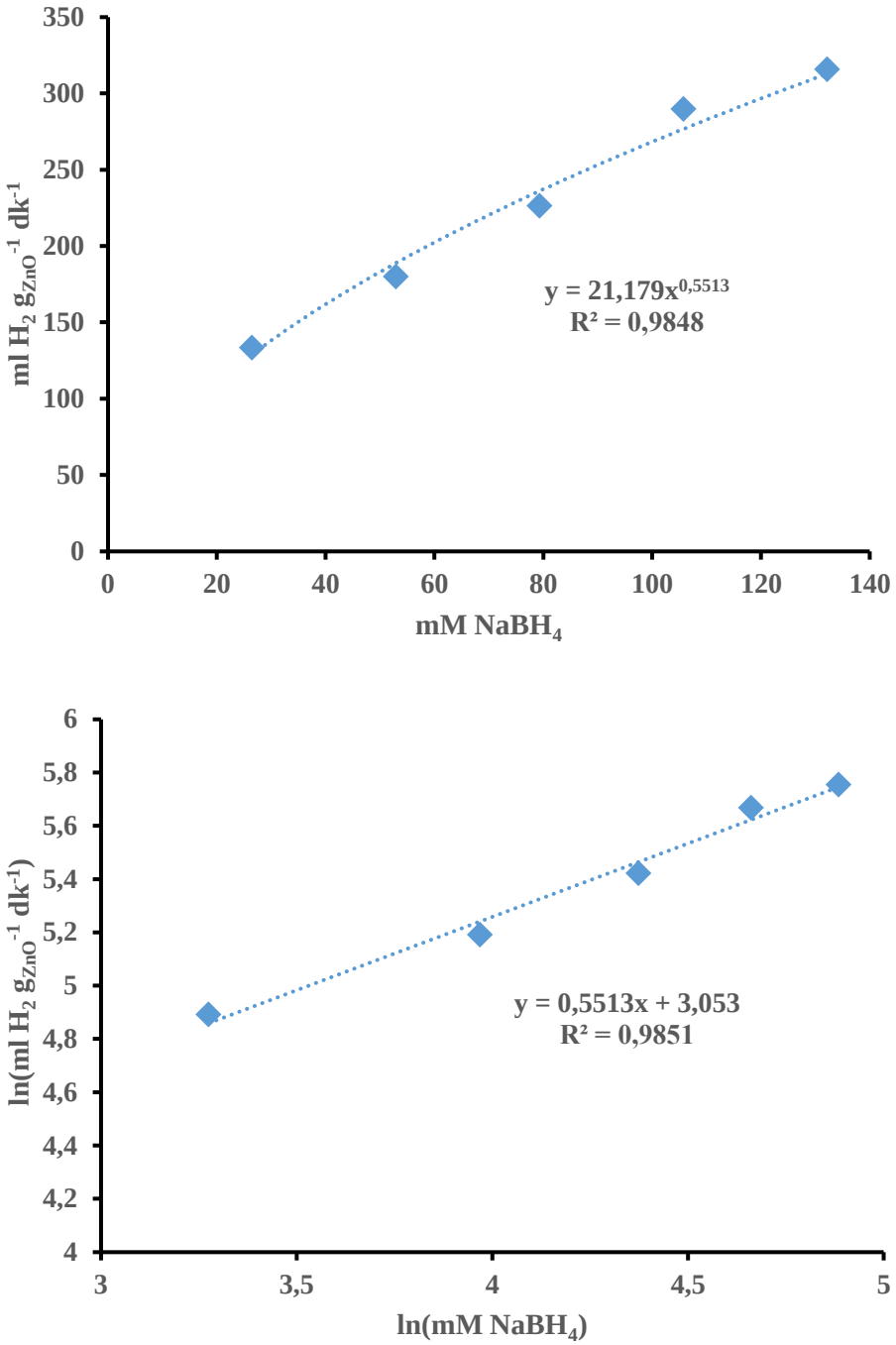
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Sentezlenen çinko oksit parçacıkları sodyum bor hidrürden hidrojen üretiminde test edilmiştir. İlk aşamada çinko oksit miktarı 50 mg olarak alınmış ve hidrojen üretim hızı 226,4 ml H_2 $g_{katalizör}^{-1}$ dk^{-1} olarak hesaplanmıştır. Ardından çinko oksit miktarı 250 mg'a kadar arttırılmış ve hidrojen üretiminin 914,3 ml H_2 $g_{katalizör}^{-1}$ dk^{-1} hızına ulaştığı görülmüştür (Görsel 2). Artış trendine bakıldığında hidrojen üretim hızının çinko oksit miktarına bağımlı olduğu gözlemlenmiştir.



Görsel 2. ZnO miktarının hidrojen üretim hızına etkisi

Diğer aşamada ise çinko oksit miktarının yanı sıra sodyum bor hidrür konsantrasyonunun hidrojen üretim hızı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sodyum bor hidrür konsantrasyonu 26 mM'dan 132 mM'a çıkarıldığında hidrojen üretim hızının 133,3 ml H_2 $g_{katalizör}^{-1}$ dk^{-1} hızından 315,8 ml H_2 $g_{katalizör}^{-1}$ dk^{-1} hızına çıktığı bulunmuştur. Böylelikle hidrojen üretim hızının çinko oksit miktarıyla birlikte sodyum bor hidrür konsantrasyonuna da bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Görsel 3. Sodyum bor hidrür konsantrasyonunun hidrojen üretim hızına etkisi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlara bakıldığında

- ZnO parçacıklarının sodyum bor hidrürden hidrojen üretiminde kullanılabileceği
- hidrojen üretim hızının hem sodyum bor hidrür konsantrasyonu hem de katalizör miktarının bir fonksiyonu olduğu

görülmektedir.

Gelecek çalışmalar kapsamında da

- Sıcaklığın hidrojen üretim performansına etkisi
- Katalizör karakterizasyonu
- Stabilizatör kullanımının etkisi
- Stabilizatör türünün etkisi
- Farklı metal oksitlerin üretimi ve testleri
- Hidrojen kaynağı olarak farklı kimyasal hidrürlerin kullanılması

planlanmaktadır

.

KAYNAKÇA

1. Srivastava, N., Agarwal, M, Pal, N., Dohare, R. K. Utilization of waste tea leaves as metal-free catalyst for hydrogen generation via ethanolysis of Sodium Borohydride, Biomass and Bioenergy, 184, 107168, 2024.
2. Alshammari, K., Alakreia, A. S., Aldakhilallah, G. F., Alotaibi, R. B., Fal, M. Synthesis and characterization of CdS@g-C_3N_4 catalyst for enhanced hydrogen generation using methanolysis of sodium borohydride, Journal of Alloys and Compounds, 1010, 177590, 2025.
3. Akın, M. B., Şahin, Ö. Hydrogen production via methanolysis of sodium borohydride using acetic acid as a catalyst, Renewable Energy, 240, 122247, 2025.
4. Wang, Y., Zheng, X., Wang, Y., Li, X., Liu, Y., Xia, Z. Effect of loaded Co–B on hydrogen release performance of sodium borohydride, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 204, 112761, 2025.
5. Han, Y., Yang, X., Xu, F., Wang, Y., Liu, W., Ma, J., Wang, Y., Zhang, K, Cao, Z., Li, G., Wu, S. Cobalt-manganese-boron/nickel foam for hydrogen generation from the hydrolysis of sodium borohydride solution, Renewable Energy, 246, 122899, 2025.
6. Toprak, N. E., Bozkurt, G., Özer, A. Superior catalytic activity of Co–B/Co3O4 catalyst for hydrogen generation from sodium borohydride, International Journal of Hydrogen Energy, 103, 232-240, 2025.
7. Najri, B. A., Saidi, K. M., Yıldız, D., Khelili, S., Kivrak, A., Kivrak, H. Iridium-melamine metal-organic framework: A novel catalyst for efficient hydrogen generation via sodium borohydride methanolysis, International Journal of Hydrogen Energy, 136, 49-59, 2025.
8. Shi, L., Zhu, K., Yang, Y., Liang, Q., Peng, Q., Zhou, S., Isimjan, T. T., Yang, X. Phytic acid-derivative Co2B-CoPOx coralloidal structure with delicate boron vacancy for enhanced hydrogen generation from sodium borohydride, Chinese Chemical Letters, 35, 109222, 2024.

9. Ilgin, P., Ozay, H., Ozay, O. Eco-Friendly Preparation of Pectin-Stabilized RutheniumCatalyst for Hydrogen Generation from SodiumBorohydride Hydrolysis, ChemistrySelect, 9, 40, e202403284, 2024.

10. Najri, B. A., Yildiz, D., Kivrak, A., Kivrak, H. Benzoic acid-functionalized bismuth nanowires: Synthesis, characterization, and catalytic role in hydrogen generation via sodium borohydride methanolysis, Fuel, 390, 134685, 2025.

11. Saka, C. Rapid and robust hydrogen generation from sodium borohydride in optimum mixture of methanol and ethylene glycol using phosphorus-doped chitosan polymer matrix dispersed on alumina nanoparticles, Journal of Molecular Liquids, 401, 124654.

12. Li, S., Qiu, S., Chua, Y. S., Xia, Y, Zou, Y., Xu, F., Sun, L., Chu, H. Co–B supported on waxberry-like hierarchical porous carbon microspheres: An efficient catalyst for hydrogen generation via sodium borohydride hydrolysis, Material Chemistry and Physics, 319, 129399, 2024.

YANMA SENTEZİ İLE BORÜR SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ

Doç. Dr. Mehmet BUĞDAYCI
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, 77200-Merkez/Yalova,
mehmet.bugdayci@yalova.edu.tr - 0000-0001-6276-9251
Doç.Dr. Özlem TUNA
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, 77200-Merkez/Yalova,
ozlem.tuna@yalova.edu.tr - 0000-0003-1641-4155
Prof.Dr. Pelin Demircivi
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, 77200-Merkez/Yalova,
pelin.demircivi @yalova.edu.tr - 0000-0002-1068-9310

ÖZET

Borür seramikler, yüksek erime sıcaklıkları, sertlikleri, kimyasal kararlılıkları ve elektriksel iletkenlik gibi üstün fiziksel özellikleriyle ileri teknolojilerde yaygın olarak kullanılan seramik malzemelerdir. Bu özellikler, borürleri özellikle havacılık, uzay, nükleer enerji, zırh sistemleri ve aşındırıcı araçlar gibi ekstrem koşullarda çalışan uygulamalar için ideal hale getirmektedir. Ancak, borür seramiklerin geleneksel üretim yöntemleri yüksek enerji tüketimi, uzun işlem süresi ve sinterleme zorlukları gibi dezavantajlara sahiptir.

Bu çalışmada, yüksek performanslı borür seramiklerin üretimi için alternatif bir yöntem olan yanma sentezi (Self-propagating High-temperature Synthesis – SHS) kullanılmıştır. SHS, metal ve bor içeren toz karışımlarının ekzotermik tepkimeler yoluyla kendi kendine yüksek sıcaklıklarda reaksiyona girerek seramik fazları oluşturmasını sağlayan hızlı, ekonomik ve enerji verimli bir üretim yöntemidir. Deneylerde titanyum ve bor tozları kullanılarak TiB_2 üretimi gerçekleştirilmiş; bazı deneylerde reaksiyon kolaylaştırıcı olarak alüminyum tozu eklenmiştir.

Sentezlenen ürünler XRD, SEM ve EDS yöntemleriyle analiz edilmiştir. XRD sonuçları, yüksek saflıkta TiB_2 fazının başarıyla elde edildiğini göstermiştir. SEM analizleri homojen ve yoğun bir mikroyapı ortaya koyarken, EDS ile elementel dağılım doğrulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, SHS yönteminin borür seramik üretiminde etkili ve uygulanabilir bir alternatif sunduğunu göstermektedir. Türkiye'nin zengin bor rezervleri göz önüne alındığında, bu yöntemin yerli üretim ve teknolojik bağımsızlık açısından stratejik önemi büyüktür.**Anahtar Kelimeler:** TiB_2, ZrB_2, B_4C,FeB

1. GİRİŞ

Seramik malzemeler; yüksek sertlik, ısıya dayanıklılık, kimyasal inertlik ve düşük yoğunluk gibi özellikleriyle geleneksel ve ileri teknoloji alanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Özellikle yüksek performanslı mühendislik seramikleri, aşınma, oksidasyon ve yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren zorlu koşullarda tercih edilmektedir[1]. Bu bağlamda borür seramikler, metalik ve seramik özellikleri bir arada sunarak özgün ve stratejik bir grup oluşturmaktadır. Metal borürleri (örneğin FeB, NiB, TiB_2, ZrB_2, HfB_2) özellikle yüksek erime noktaları (örneğin ZrB_2 için >3200 °C), yüksek sertlik (25–35 GPa aralığı), termal iletkenlik ve kimyasal kararlılıkları ile ön plana çıkmaktadır[2–4].

Borürlerin bu üstün özellikleri onları özellikle havacılık ve uzay teknolojileri (hipersonik uçaklar, ısı kalkanları), nükleer reaktör bileşenleri, zırh uygulamaları, aşındırıcı takımlar, kesici uçlar, metal döküm kalıpları ve elektriksel temas malzemeleri gibi birçok alanda vazgeçilmez hale getirmiştir. Ayrıca bor elementinin Türkiye'de bol miktarda bulunması, bu tür seramiklerin yerli üretim potansiyelini de artırmaktadır[5,6].

Ancak borür seramiklerin üretimi, sahip oldukları yüksek erime sıcaklıkları nedeniyle zordur ve genellikle yüksek sıcaklıkta uzun süreli sinterleme gerektirir. Bu durum hem enerji maliyetini artırır hem de tane büyümesi gibi olumsuz yapısal sonuçlara yol açabilir. Bu noktada alternatif üretim yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır[7].

Bu çalışmada kullanılan yanma sentezi (Self-propagating High-temperature Synthesis – SHS) yöntemi, bu tür malzemelerin üretimi için uygun, hızlı ve ekonomik bir alternatif sunmaktadır. SHS, güçlü ekzotermik (ısı açığa çıkaran) kimyasal tepkimeleri kullanarak, yüksek sıcaklıkta seramiklerin kendiliğinden oluşmasını sağlayan bir yöntemdir[8]. Bu yöntemle, geleneksel fırınlama süreçlerine göre çok daha kısa sürede ve daha düşük enerjiyle seramik malzeme üretmek mümkündür. Ayrıca ortaya çıkan yüksek sıcaklık sayesinde ürünlerin yüksek kristallik düzeye ulaşması sağlanabilir[9,10].

SHS yönteminde kullanılan başlıca hammadde tozları (örneğin metal ve bor tozları), stokiyometrik oranlarda karıştırılarak pellet haline getirilir ve ardından bir ısı kaynağıyla başlatılan tepkime zincirleme biçimde ilerler. Reaksiyon ürünleri genellikle yüksek saflıkta olup, ilave sinterleme ihtiyacı olmaksızın kullanılabilir hale gelir. Bu yöntem, titanyum borür (TiB_2), zirkonyum borür (ZrB_2), magnezyum diborür (MgB_2) ve diğer birçok borür türevlerinin üretiminde başarıyla uygulanmıştır[11–13].

Bu çalışmada, SHS yöntemi ile borür seramiklerin üretimi laboratuvar ölçeğinde gerçekleştirilmiş ve ürünlerin yapısal özellikleri çeşitli karakterizasyon teknikleriyle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu yöntemin yerli üretim stratejileriyle bütünleşerek, ileri teknolojiye yönelik seramiklerin ekonomik biçimde üretilebileceğini göstermektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada, metal borürlerin üretimi için aşağıdaki toz hammaddeler kullanılmıştır:

- Titanyum tozu (Ti, 99.5% saflık)

- Fe_2O_3
- Bor tozu (amorf, <1 μm, 99% saflık)
- Alüminyum tozu (Al, opsiyonel katkı amacıyla)
- Sodyum borhidrür ($NaBH_4$, bazı alternatif deneylerde bor kaynağı olarak)

2.2. Numune Hazırlama ve SHS Süreci

Tozlar, önceden belirlenen stokiyometrik oranlarda hassas terazilerle tartıldıktan sonra, el mikseri ya da mekanik öğütücü (ball mill) ile homojen şekilde karıştırılmıştır. SHS reaksiyonu başlatılmadan önce, karışım hafifçe sıkıştırılarak pelet haline getirilmiştir. Reaksiyonlar kontrollü atmosferde (örneğin argon) çalışan bir SHS reaktöründe gerçekleştirilmiştir. Tepkime şu şekilde gerçekleşmiştir (örnek reaksiyon için):

$Ti + 2B \rightarrow TiB_2 + Q$

Fe2O3+B2O3+4Al => 2FeB+2Al2O3

Bu tepkime sırasında açığa çıkan ekzotermik enerji (Q), tepkimenin kendiliğinden ilerlemesini sağlamaktadır. Bazı deneylerde reaksiyon başlatma sıcaklığını düşürmek için Al gibi ilave elementler kullanılmıştır.

2.3. Ürünlerin Karakterizasyonu

Elde edilen ürünler aşağıdaki yöntemlerle analiz edilmiştir:

- **X-Işını Difraksiyonu (XRD):** Faz analizi ve kristal yapı belirleme
- **Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM):** Mikro yapı gözlemi
- **Enerji Dağılımlı Spektroskopi (EDS):** Elementel analiz
- **Yoğunluk ölçümleri:** Arşimedes yöntemiyle

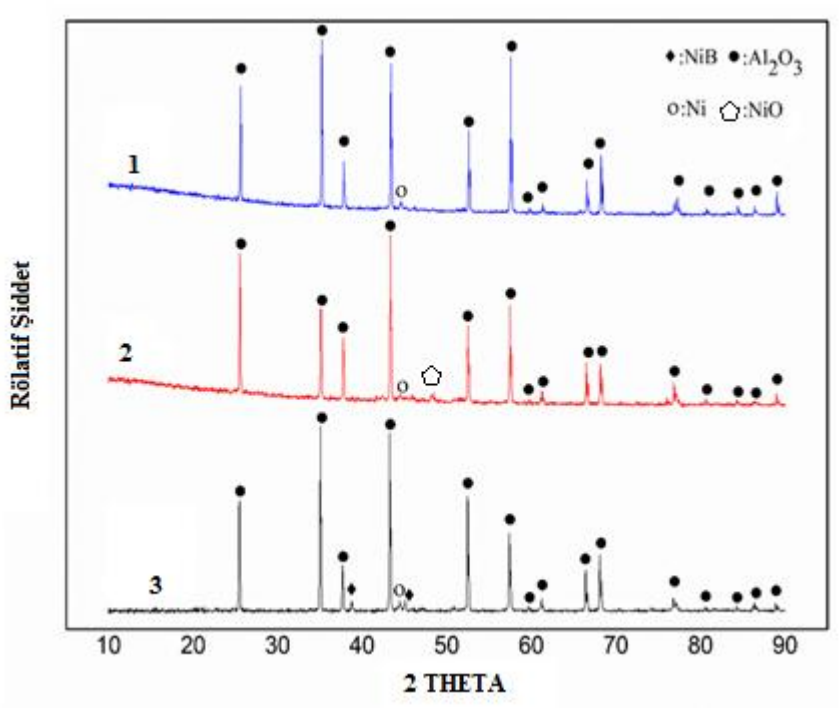
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda, SHS yöntemiyle yüksek saflıkta TiB_2 seramiği başarıyla sentezlenmiştir. XRD analizleri, ürünlerin büyük oranda hedeflenen borür fazı içerdiğini, amorf veya istenmeyen ara fazların minimal olduğunu göstermiştir. SEM görüntülerinde, homojen ve yoğun mikroyapılar gözlenmiştir. Ayrıca, SHS tepkimesinin başlama sıcaklığı Al katkısıyla önemli ölçüde düşürülmüş, tepkimenin ilerleme hızı artmıştır.

Aşağıda elde edilen başlıca bulgular özetlenmiştir:

- SHS yöntemiyle sentezlenen TiB_2 seramiği yüksek kristalinlik göstermiştir.
- Ekzotermik tepkime hızlı ve enerji verimli biçimde gerçekleşmiştir.
- Mikro yapılar kompakt ve düşük gözeneklilik göstermiştir.
- SHS yöntemi, geleneksel sinterleme yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetlidir.

Nikel bor üretimi için gerçekleştirilen farklı stokiyometrilerdeki karışımların XRD grafiği görsel 12de sunulmuştur.



Görsel 1. Farklı Stokiyometrilerde NiB üretimi XRD paternleri.

XRD grafiği incelendiğinde (Görsel 1), cürufta yüksek miktarda B_2O_3 olduğu tespit edilmiştir. İndirgeme sırasında NiO toplam enerjinin önemli bir kısmını tüketir. Sonuç olarak, B2O3'ü indirgemek için yeterli enerji yoktur. İndirgeyici madde olarak kullanılan sabit miktarda alüminyum ve bor oksit miktarındaki artış, sistemde indirgenmiş saf nikelin varlığına yol açabilir. Cüruf fazında pota kaynaklı SiO_2 kirliliği yoktur. Al_2O_3 yapısından gelen cüruf amfoterik bir özellik gösterdiğinden, asidik özelliklere sahip SiO_2 pota ile reaksiyona girmemiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, borür seramiklerin SHS yöntemiyle üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir. SHS, özellikle metal-bor karışımları için uygun stokiyometri ve ortam sağlandığında, yüksek saflıkta ve kristallik düzeyi yüksek ürünlerin elde edilmesine olanak tanır. Bu yöntem, üretim süresini ciddi şekilde kısaltırken, enerji tüketimini de azaltmaktadır. Uygulanan yöntem, gelecekte farklı borür seramiklerin üretimi ve endüstriyel uygulamalarına zemin hazırlayabilecek niteliktedir.

İleriye dönük olarak, bu yöntemle sentezlenen borürlerin mekanik özellikleri (örneğin sertlik, aşınma direnci), oksidasyon dayanımı gibi özelliklerinin detaylı şekilde incelenmesi, bu malzemelerin yüksek sıcaklık uygulamaları için potansiyelini ortaya koyacaktır.

Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmayı '2024/AP/0001' projesi aracılığıyla desteklediği için Yalova Üniversitesi'ne teşekkürlerini sunarlar.

KAYNAKÇA

[1] B. Şenyurt, N. Akçamlı, D. Ağaoğulları, In-situ synthesis of tungsten boride-carbide composite powders from WO3-B2O3–Mg–C quaternary system via a mechanochemical route, Ceram. Int. 47 (2021) 1640–1650. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.08.280.

[2] Ö.C. Odabaş, M. Buğdaycı, S. Kan, A. Turan, O. Yücel, Effects of reductant type on the combustion synthesis of NiB, Solid State Sci. 111 (2021). https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2020.106447.

[3] M. Alkan, K.C. Tasyürek, M. Bugdayci, A. Turan, O. Yücel, DC Electric Arc Furnace Application for Production of Nickel-Boron Master Alloys, JOM. 69 (2017) 1654–1662. https://doi.org/10.1007/s11837-017-2439-y.

[4] M. Alkan, M.S. Sonmez, B. Derin, O. Yücel, Effect of initial composition on boron carbide production by SHS process followed by acid leaching, Solid State Sci. 14 (2012) 1688–1691. https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2012.07.004.

[5] O. Yücel, F. Cinar, O. Addemir,, A. Tekin, The Preparation of Ferroboron and Ferrovanadium by Aluminothermic Reduction, High Temp. Mater. Process. 15 (1996) 103–110. https://doi.org/10.1515/HTMP.1996.15.1-2.103.

[6] H.L. Tekinalp, V. Kunc, G.M. Velez-Garcia, C.E. Duty, L.J. Love, A.K. Naskar, C.A. Blue, S. Ozcan, Highly oriented carbon fiber-polymer composites via additive manufacturing, Compos. Sci. Technol. 105 (2014) 144–150. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.10.009.

[7] S.R. Moghaddam, B. Derin, O. Yucel, M.S. Sonmez, M. Sezen, F. Bakan, V.N. Sanin, Di.E. Andreev, Production of Mo2NiB2 Based Hard Alloys by Self-Propagating High-Temperature Synthesis, High Temp. Mater. Process. 38 (2019) 683–691. https://doi.org/10.1515/htmp-2019-0020.

[8] A. TURAN, M. BUĞDAYCI, CoB Ön Alaşımlarının Alüminotermik Redüksiyon Yöntemiyle Üretilmesi ve Termokimyasal Modellenmesi, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Derg. 2020 (2020) 436–447. https://doi.org/10.31202/ecjse.652028.

[9] L. Chkhartishvili, L. Antashvili, L. Dalakishvili, R. Chedia, O. Tsagareishvili, A. Mikeladze, On modeling of synthesis process of boron carbide based nanocomposites, Condens. Matter. 6 (2021) 1–13. https://doi.org/10.3390/condmat6010003.

[10] M. Dahlqvist, J. Rosen, Impact of vacancies on structure, stability and properties of hexagonal transition metal diborides, MB2 (M = Sc, Y, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo, W, Mn, and Fe), Materialia. 26 (2022) 101629. https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101629.

[11] X. Xiong, Q. Wang, F. Yang, J. Feng, C. Li, G. Yan, Physica C : Superconductivity and its applications Improved superconducting properties of multifilament internal Mg diffusion processed MgB 2 wires by rapid thermal processing, Phys. C Supercond. Its Appl. 580 (2021) 1353800. https://doi.org/10.1016/j.physc.2020.1353800.

[12] M. Balog, A. Rosova, B. Szundiova, L. Orovcik, P. Krizik, P. Svec, M. Kulich, L. Kopera, P. Kovac, I. Husek, A. Mohamed, H. Ibrahim, HITEMAL-an outer sheath material for MgB 2 superconductor wires : The effect of annealing at 595 – 655 ° C on the microstructure and properties, Mater. Des. 157 (2018) 12–23. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2018.07.033.

[13] R.M. Mohanty, K. Balasubramanian, S.K. Seshadri, Multiphase formation of boron carbide in B2O3-Mg-C based micropyretic process, J. Alloys Compd. 441 (2007) 85–93. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2006.09.069.

KARBOTERMİK YÖNTEMLE İLE BORÜR SERAMİK MALZEME ÜRETİMİ

Doç. Dr. Mehmet BUĞDAYCI
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, 77200-Merkez/Yalova,
mehmet.bugdayci@yalova.edu.tr - 0000-0001-6276-9251
Doç.Dr. Özlem TUNA
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, 77200-Merkez/Yalova,
ozlem.tuna@yalova.edu.tr - 0000-0003-1641-4155
Araş.Gör.Dr. Nergiz Zeynep KANMAZ Keleşoğlu
Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü, 77200-Merkez/Yalova,
nzeynep.kanmaz @yalova.edu.tr - 0000-0002-5598-4911

ÖZET

Yüksek performanslı karbür seramikler, yüksek sertlik, mükemmel aşınma direnci ve olağanüstü termal ve kimyasal kararlılık gibi olağanüstü mekanik özellikleri nedeniyle son yıllarda önemli ilgi görmüştür. Bu özellikler, onları özellikle aşırı mekanik ve termal streslerin olduğu ortamlarda olmak üzere çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda vazgeçilmez kılmaktadır. Geleneksel olarak, bu seramikler tipik olarak 1100 ila 1500 °C arasında değişen yüksek sıcaklıklara maruz kalan metalik tozları içeren katı hal reaksiyonları yoluyla sentezlenir. Ancak, geleneksel yöntemler maliyetli ve enerji yoğun olabilir ve bu da alternatif, daha verimli sentez yollarının geliştirilmesini teşvik eder. Bu çalışmada, gelişmiş seramik karbürler ve alaşımları, uygun maliyetli ve enerji açısından verimli teknikler kullanılarak sentezlenmiştir. Özellikle, metalik bileşenlerin oksitlerini karşılık gelen karbür fazlarına indirgemek için kendi kendine yayılan yüksek sıcaklık sentezi (SHS) ve bilyalı değirmen destekli karbotermal indirgeme yöntemleri kullanılmıştır. Sentezlenen malzemelerin kapsamlı karakterizasyonu, oluşan kristalin fazları tanımlamak için X-ışını kırınımı (XRD), mikro yapısal evrimi analiz etmek için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve termodinamik davranışları modellemek için HSC Kimya yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi. Değişen stokiyometrik yük bileşimlerinin ve deneysel sürelerin etkileri sistematik olarak değerlendirildi ve farklı indirgeyici maddelerin nihai ürünlerin faz bileşimi ve morfolojisi üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde araştırıldı.

Anahtar Kelimeler : Termodinamik, İndirgeme, Karbürler

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiye paralel olarak ileri seramik malzemelere duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Özellikle savunma sanayii, nükleer teknoloji, havacılık ve uzay mühendisliği gibi yüksek performans gerektiren alanlarda kullanılmak üzere geliştirilen seramik malzemeler, sahip oldukları olağanüstü fiziksel ve kimyasal özellikler sayesinde geleneksel metallere ve alaşımlara kıyasla birçok üstünlük sunmaktadır[1–3]. Bu özellikler arasında yüksek erime noktası, yüksek sertlik, düşük yoğunluk, iyi aşınma ve oksidasyon direnci sayılabilir.

Bu bağlamda borür esaslı seramikler (örneğin; bor karbür – B_4C, titanyum diborür – TiB_2, zirkonyum diborür – ZrB_2), özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarına dayanıklılıkları ve üstün mekanik özellikleri nedeniyle son yıllarda dikkat çeken malzemeler arasında yer almaktadır[4]. TiB_2 gibi geçiş metali borürleri, 3200 °C'ye kadar ulaşabilen erime sıcaklıkları, yüksek elektrik iletkenliği ve düşük özgül ağırlıkları ile teknik seramikler sınıfında stratejik önem taşımaktadır[5]. Benzer şekilde, B_4C çok yüksek sertliği (Vickers ~30 GPa) sayesinde balistik zırh uygulamalarında kullanılan en sert malzemelerden biridir.

Borür esaslı bu seramiklerin üretimi ise oldukça zor ve maliyetli bir süreçtir[6]. Konvansiyonel seramik üretim tekniklerinin çoğu, bu tür malzemeler için hem enerji tüketimi yüksek hem de ürün saflığı açısından yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle alternatif üretim yöntemleri üzerine yapılan çalışmalar önem kazanmıştır. Bu yöntemlerden biri olan **karbotermik indirgeme**, özellikle oksit hammadde bazlı seramik üretiminde ekonomikliği ve uygulama kolaylığı ile öne çıkmaktadır[7–9].

Karbotermik indirgeme, metal oksitlerin karbon ile yüksek sıcaklıkta reaksiyona sokularak indirgenmesi esasına dayanır. Bu yöntem sayesinde, pahalı ve zor temin edilen borür bileşikleri yerine daha ucuz ve yaygın olarak bulunan oksit hammadde kullanılarak hedef seramik fazlar üretilebilmektedir[10–13]. Örneğin TiB_2 üretiminde genellikle kullanılan reaksiyon aşağıdaki gibidir:

$$TiO_2+B_2O_3+5C \rightarrow TiB_2+5CO(g)$$

Bu reaksiyon endotermik bir yapıya sahiptir ve yüksek sıcaklıklarda (genellikle 1500–1700 °C) gerçekleştirilmesi gerekir. Bu nedenle karbotermik indirgeme yönteminin başarısı, uygulanan sıcaklık, kullanılan hammadde saflığı, karbon türü ve parçacık boyutu gibi birçok parametreye bağlıdır. Ayrıca indirgeme işleminin inert (örneğin argon) veya vakum ortamında yapılması, istenmeyen oksitlenmeleri önlemek adına kritik bir gerekliliktir[14].

Literatürde, karbotermik indirgeme ile borür üretimi üzerine çeşitli çalışmalar mevcuttur. Zhang ve arkadaşları [15], TiO_2 ve B_2O_3'ün aktif karbon ile indirgenmesi sonucu yüksek saflıkta TiB_2 tozları elde etmiş, ürün saflığının özellikle sinterleme sıcaklığı ve karbon oranı ile doğrudan ilişkili olduğunu rapor etmiştir. Benzer şekilde Alkan[4,16], ZrB_2 üretiminde indirgeme atmosferinin kontrolünün ürün kalitesi açısından belirleyici olduğunu vurgulamıştır. Bununla birlikte bazı çalışmalarda reaksiyon sonrası oluşan ara fazlar (örneğin TiC, B_4C) gibi

istenmeyen yan ürünlerin oluşumu da rapor edilmiştir. Bu tür yan fazların kontrol altına alınması, ürün saflığını ve performansını doğrudan etkileyen bir faktördür.

Bu çalışmanın amacı, karbotermik indirgeme yöntemi kullanarak borür esaslı seramiklerin, özellikle TiB_2 gibi stratejik öneme sahip malzemelerin ekonomik ve kontrollü bir şekilde sentezlenmesini sağlamaktır. Çalışmada, kullanılan hammadde oranları, sinterleme sıcaklığı ve atmosfer gibi parametrelerin ürün üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiş ve XRD, SEM gibi karakterizasyon yöntemleriyle desteklenmiştir. Bu kapsamda elde edilen bulguların, borür seramiklerin yerli ve düşük maliyetli üretimi açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1 Hammadde Seçimi

Bu çalışmada bor oksit (B_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2) ve aktif karbon (C) temel hammaddeler olarak seçilmiştir. Reaksiyon denklemine göre uygun mol oranlarında karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Reaksiyon denklemine örnek olarak:

$TiO2+B2O3+5C \rightarrow TiB2+5CO(g)$

2.2 Karıştırma ve Şekillendirme

Hammaddeler, alkol ortamında 12 saat süreyle bilyalı değirmende karıştırılmıştır. Karışım, kurutma işleminden sonra kalıplama (presleme) yoluyla şekillendirilmiştir.

2.3 Isıl İşlem (Sinterleme)

Şekillendirilen örnekler, argon atmosferi altında 1500–1700 °C sıcaklık aralığında sinterlenmiştir. Sinterleme süresi ve sıcaklığın nihai ürün üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir.

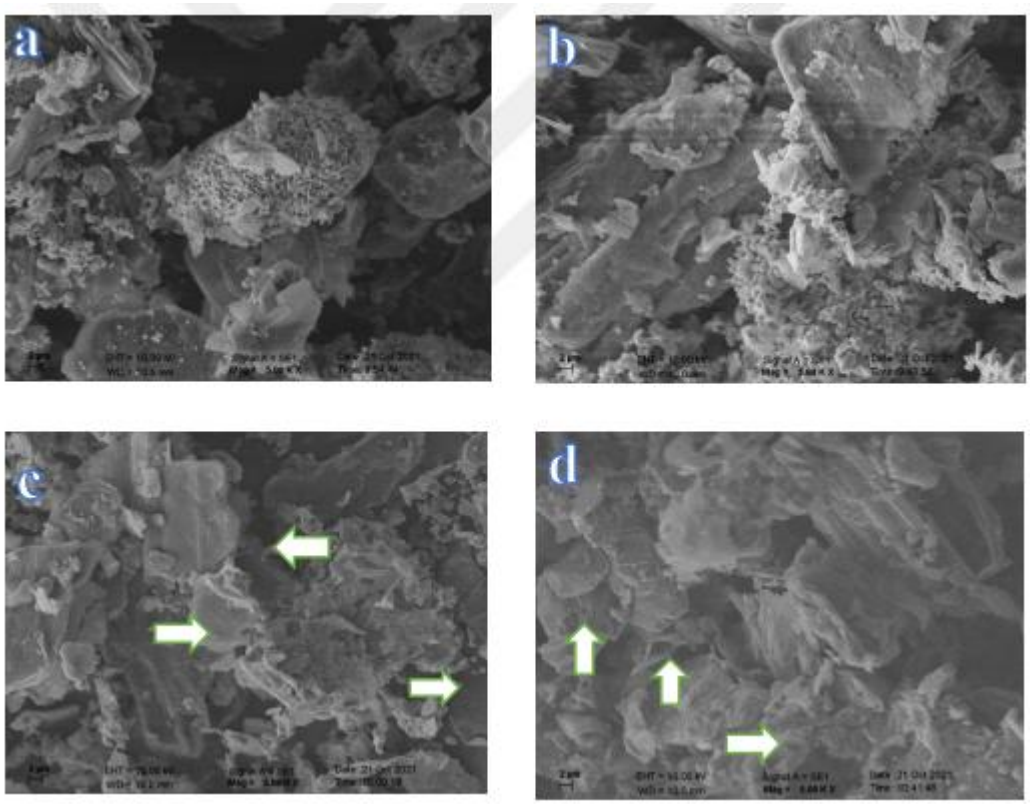
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1 Faz Analizi (XRD)

X-ışını difraksiyonu (XRD) ile yapılan analizlerde, sinterleme sıcaklığına bağlı olarak farklı fazların oluşumu gözlemlenmiştir. 1600 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda TiB_2 ana fazı baskın olarak tespit edilmiştir. Düşük sıcaklıklarda ise reaksiyon tamamlanmadığından TiO_2 kalıntılarına rastlanmıştır.

3.2 Mikro Yapı (SEM Analizi)

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan incelemelerde, sinterleme sıcaklığı arttıkça tane büyümesinin arttığı, ancak gözenekliliğin azaldığı gözlemlenmiştir. 1700 °C'de sinterlenen örneklerde, yoğun ve homojen bir yapı elde edilmiştir bulgular görsel 1’de verilmiştir.



Görsel 1. TiB_2 SEM görselleri. (a:1sa, b: 2sa,c:4sa, d:8sa)

Görsel 1'de işaretlenen hekzagonal yapılar TiB_2 oluşumunu ispat etmektedir.

3.3 Yoğunluk ve Sertlik

Sinterlenmiş numunelerin yoğunluğu Arşimet yöntemi ile belirlenmiş, maksimum yoğunluk %96 seviyelerinde ölçülmüştür. Mikroyapısal yoğunluk artışına paralel olarak, Vickers mikrossertlik değerleri de 2000 HV seviyelerine ulaşmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, karbotermik indirgeme yönteminin borür seramik üretiminde etkili bir teknik olduğunu göstermiştir. Özellikle uygun hammadde oranları, yeterli karıştırma süresi ve kontrollü sinterleme koşulları ile yüksek yoğunluklu, düşük gözenekli ve fazca saf borür seramikler elde edilebilmiştir. Karbotermik yöntem, düşük maliyetli ve ölçeklenebilir bir üretim alternatifi olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] B. Tuncer, M. Buıdayci, O. Yücel, Production of CrB<inf>2</inf> powder via self propagating high temperature synthesis, in: TMS Annu. Meet., 2015.

[2] M. Dahlqvist, J. Rosen, Impact of vacancies on structure, stability and properties of hexagonal transition metal diborides, MB2 (M = Sc, Y, Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, Cr, Mo,

W, Mn, and Fe), Materialia. 26 (2022) 101629. https://doi.org/10.1016/j.mtla.2022.101629.

[3] H. Figiel, O. Zogał, V. Yartys, Journal of Alloys and Compounds: Preface, J. Alloys Compd. 404–406 (2005) 1. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2005.05.002.

[4] B. Akkas, M. Alkan, B. Derin, Y. Onüralp, Production of Zirconium Diboride Powder by Self Propagating High Temperature Synthesis, Adv. Sci. Technol. 63 (2010) 251–256. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AST.63.251.

[5] Z. Mestvirishvili, V. Kvatchadze, I. Bairamashvili, N. Jalabadze, T. Mestvirishvili, Development of the method of production of the ultrafine macrohomogeneous composite powder, Mater. Sci. Technol. (United Kingdom). 36 (2020) 327–333. https://doi.org/10.1080/02670836.2019.1705046.

[6] A. Andreone, C. Aruta, M. Iavarone, F. Palomba, M.L. Russo, Microwave properties of RE – Ni 2 B 2 C ž RE s Y , Er / superconducting thin films, Scan. Electron Microsc. (1999) 141–149.

[7] J. Xu, T. Zhang, X. Li, Research on the Process, Energy Consumption and Carbon Emissions of Different Magnesium Refining Processes, 2023.

[8] G.Q. Jin, X.Y. Guo, Synthesis and characterization of mesoporous silicon carbide, Microporous Mesoporous Mater. 60 (2003) 207–212. https://doi.org/10.1016/S1387-1811(03)00378-0.

[9] Y. Wang, G. Zhang, K. Chou, Preparation and oxidation characteristics of ZrC-ZrB2 composite powders with different proportions, Int. J. Miner. Metall. Mater. 29 (2022) 521–528. https://doi.org/10.1007/s12613-021-2330-2.

[10] A. Mikeladze, O. Tsagareishvili, L. Chkhartishvili, R. Chedia, M. Darchiashvili, Production of titanium-containing metal-ceramic composites based on boron carbide in the nanocrystalline state, Adv. Appl. Ceram. 118 (2019) 196–208. https://doi.org/10.1080/17436753.2019.1611088.

[11] M. Bułdayci, A.E. Yildizçelik, O. Yücel, Production of ZrB<inf>2</inf>-TiB<inf>2</inf> ceramic composite powders by SHS, in: TMS Annu. Meet., 2015.

[12] O. Coban, M. Bugdayci, S. Baslayici, M.E. Acma, Combustion Synthesis of B4C–TiB2 Nanocomposite Powder: Effect of Mg Particle Size on SHS and Optimization of Acid Leaching Process, J. Superhard Mater. 45 (2023) 20–30. https://doi.org/10.3103/S1063457623010033.

[13] M. Bugdayci, S. Baslayici, O. Coban, F. Kaya, Self-propagating high temperature synthesis (SHS) of ZrC-TiC nanocomposites: Comparison of Mg and Al reductant

usage and process optimization, J. Aust. Ceram. Soc. (2024). https://doi.org/10.1007/s41779-024-01062-2.

[14] V.A. Scherbakov, A.N. Gryadunov, M.I. Alymov, Synthesis and Characteristics of B4C–TiB2 Composite, Adv. Mater. Technol. (2016) 016–021. https://doi.org/10.17277/amt.2016.04.pp.016-021.

[15] L. Wu, T. Yao, Y. Wang, J. Zhang, F. Xiao, B. Liao, Understanding the mechanical properties of vanadium carbides: Nano-indentation measurement and first-principles calculations, J. Alloys Compd. 548 (2013) 60–64. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2012.09.014.

[16] Ö.C. Odabaş, M. Buğdaycı, S. Kan, A. Turan, O. Yücel, Effects of reductant type on the combustion synthesis of NiB, Solid State Sci. 111 (2021). https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2020.106447.

ELEKTROSPİNNİNG YÖNTEMİ KULLANARAK ELDE EDİLEN NANOFİBER KAPLAMALARIN AM50 ALAŞIMININ KOROZYON DAVRANIŞINA ETKİSİ

Dr.Öğr.Üyesi H.Deniz ADA
Dumlupınar Üniversitesi,KTBMYO
hdeniz.ada@dpu.edu.tr, 0000-0001-9991-8396

Dr.Öğr.Üyesi Merve DAĞCI TEKİN
Dumlupınar Üniversitesi,KTBMYO
merve.dagci@dpu.edu.tr, 0000-0001-6639-8080

ÖZET

Magnezyum AM50 alaşımı mekanik dayanıklılığı ve hafifliği ile birçok alanda tercih edilen bir alaşımdır. Fakat biyomedikal uygulamalarda ortamdan kaynaklı yüksek korozyon eğilimi kullanımını sınırlamaktadır. Bu çalışmada AM50 alaşımının yüzeyinin korozyon direncinin artırılması amacı ile elektrospinning yöntemiyle üretilebilecek nanofiberlerlerin bariyer etkisi değerlendirilmiştir. Derlenen veriler elektrospinnig ile elde edilen nanofiberlerin yüzey bariyeri olarak çalışabileceğini özellikle biyomedikal uygulamalarda bu yönüyle umut vadettiğini göstermektedir. Yapılan çalışmalar genellikle AZ31 ve AZ91 alaşımları üzerinedir. Bu durum AM50 alaşımı üzerinde yapılacak çalışmaların önemini vurgulamaktadır
Anahtar Kelimeler: AM50 magnezyum alaşımı, elektrospining, nanofiber

1.GİRİŞ

Son yıllarda, magnezyum (Mg) ve alaşımları, uygun mekanik özellikleri, biyouyumluluğu ve biyolojik olarak parçalanabilirliği nedeniyle özellikle yüksek yük taşıma uygulamaları için büyük potansiyel taşımaktadır[1]. Biyolojik olarak kolay yok olabilen yapıları biyomedikal alanlarda vücut içi implantlarda kullanımını kolaylaştırmaktadır. AM50 alaşımı yüksek mukavemeti ve iyi döküm özellikleri nedeniyle dikkat çeken bir alaşımdır. Ancak, özellikle fizyolojik ortamlarda korozyon direnci sınırlı kalmaktadır[2,3]. İnsan vücudu, protein ve oksijenli tuzlu çözeltiler içerdiğinden implant malzemelerin, vücut sıvılarını bünyelerine alıp şişmemeleri, deforme olmamaları, korozyona uğramamaları beklenmektedir. Bu şartlar altında bazı implant malzemeleri, vücut tarafından uygunken bazıları uyum sağlayamamaktadır. Biyomalzemelerin, toksik ve kanserojen özellikte olmaması, mekanik dayanımlarının iyi olması, vücutta zararlı reaksiyonlara sebep olmaması ve korozyona uğramaması gerekmektedir[4,5].

Magnezyum iyonlarının çözünmesini kontrol ederek alaşımının bozunmasını azaltmak için yüzeyde anodizasyon, mikro ark oksidasyonu, elektrolitik oksidasyon, elektrodepozisyon, sol-jel vb. gibi çeşitli yüzey modifikasyon teknikleri uygulanabilir. Çeşitli yüzey kaplama yöntemlerine ek olarak, elektrospinning tekniği, benzersiz özellikleri nedeniyle Mg alaşımlarının yüzey modifikasyonunda son yıllarda önem kazanmaya başlamıştır. Bu yöntemle nano ölçekte polimerik lifler üretebilir ve metal ve alaşım yüzeyleri üzerine kaplanabilir[6]. Elektrospinning yöntemi için polimer seçimi, biyouyumluluk, sınırlı toksisite, biyolojik olarak parçalanabilirlik ve yeterli mekanik özellikler gibi parametrelere bağlıdır. Elektrospinning kaplaması için kullanılan polimer, kemik oluşumu sırasında apatit benzeri bazı bileşiklerin çökelmesini de sağlayıcı özellikler içermelidir.

Nanofiberler günümüzde her türlü ihtiyaca uygun işlevsellikleri, eşsiz mekanik ve yüzey özelliklerinden dolayı adsorpsiyon, filtrasyon, doku mühendisliği, sensörler, polimerik piller, kompozit destekleyicisi olarak birçok uygulama alanında kullanılmaktadırlar. Nanofiber üretiminde en fazla tercih edilen “elektrospinning” tekniği, fiber çaplarının nano boyutta olmasında en etkili, basit ve çok yönlü bir tekniktir. Literatürde bu yöntemle çeşitli Magnezyum alaşımlarının nanofiber yapılarla kaplanarak yapay vücut sıvısında korozyon dayanımını inceleyen birkaç çalışma vardır[2,7,8,9,10].

Bu çalışmada son yıllarda yapılmış bilimsel çalışmalar ışığında AM50 alaşımının elektrospinning yöntemiyle kaplanarak korozyon direnci artırılmasının uygulanabilirliği ve performansı değerlendirilecektir.

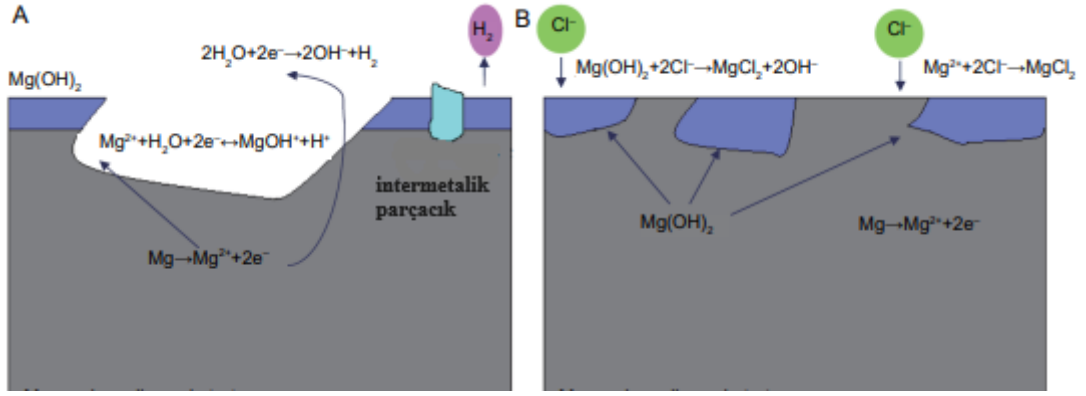
2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. AM50 Alaşımı ve Korozyon Davranışı

Magnezyum alaşımları, biyolojik olarak parçalanabilir yapıları ve uygun mekanik özellikleri nedeniyle biyomedikal uygulamalarda artan bir ilgi kazanmıştır. Bununla birlikte vücut sıvısı gibi çeşitli sulu ortamlarda korozyona karşı hassasiyetleri, pratik kullanımları için önemli bir sınırlamadır. Bu durum biyobozunurluk olarak avantajlı bir biçimde de kullanılabilir. Şekil1 sulu bir ortamda Mg'nin korozyon mekanizmasını vermektedir. Anodik reaksiyon/çözünme, katodik reaksiyon/hidroliz, ürün oluşumu süreçleri Şekil 1 da gösterilmiştir. Agresif iyon Cl^- Mg(OH)2 ile reaksiyona girer ve daha çözünür $MgCl_2$ oluşturur.

$$Mg(OH)_2+2Cl^-\rightarrow MgCl_2+2OH^-$$

Mg'nin daha fazla aşınması, korunan alanların kaybolması nedeniyle $Mg(OH)_2$'nin çözünmesiyle desteklenir. Şekil 1’de Cl^- Mg'nin çözünmesini katalize eder ve doğrudan $MgCl_2$ üreterek çıplak Mg'yi çözeltiye maruz bıraktığı görülür.



Görsel 1. Vücut sıvısı gibi sulu bir ortamda Magnezyumun aşınmasının şematik gösterimi[12]

Yapay vücut sıvısında (SBF) i magnezyum alaşımlarının korozyon mekanizması karmaşıktır ve farklı süreçleri içerebilir. Korozyon süreci iki aşamaya ayrılabilir: malzeme yüzeyinde pasif bir tabakanın oluştuğu bir başlangıç aşaması ve pasif tabakanın parçalanarak korozyonun meydana geldiği ikinci bir aşama.

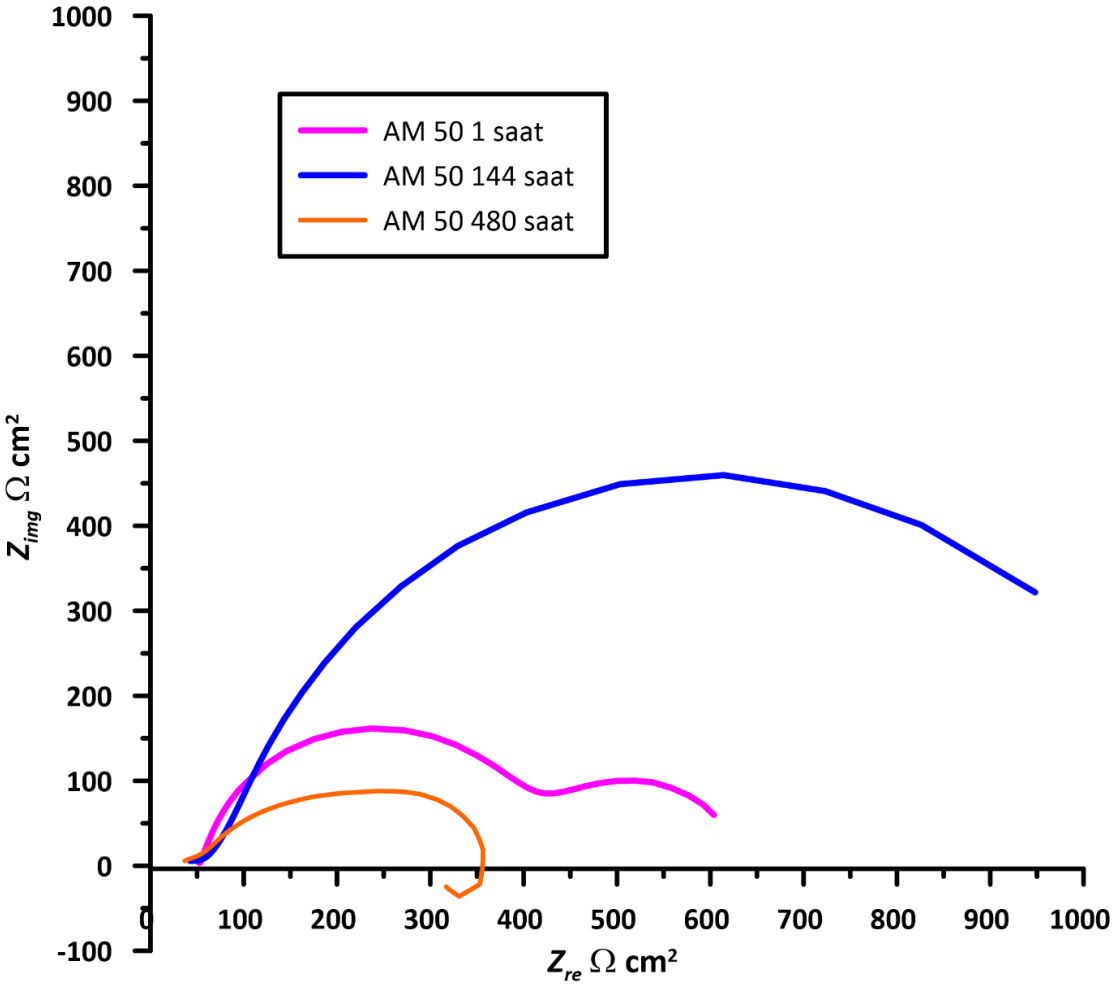
Çizelge 1 AM50 Alaşımının Ortalama Konsantrasyonu (ASTM B93-94 esas alınmıştır)

Al	Mn	Mg	Zn	Si	Fe	Cu
5,28	**0,62**	**94,09**	Max0,02	Max0,05	Max0,004	Max0,008

Çizelge 2. Yapay Vücut Sıvısının İçeriği[13]

Kimyasal Bileşenler	**Miktar (g/1000 mL)**
NaCl	*8,035*
NaHCO3	*0,355*
KCl	*0,225*
K2HPO4.3H2O	*0,231*
MgCl2.H2O	*0,311*
HCl	*40*
CaCl2	*0,292*
Na2SO4	*0,072*
((CH2OH)3CNH2)	*6.118*

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) analizi için; GAMRY PC3/600 potansiyostat/galvanostat/ZRA Cihazı ve korozyon ölçümleri için ASTM G1-03 standardına göre numune hazırlama süreci, ASTM A 775, G59-97, G5- 94 ve BS 7295 standartlarına göre korozyon ölçümleri gerçekleştirildiğinde aşağıda verilen Nyquest eğrileri elde edilebilir.



Görsel 2. AM50 Mg alaşımının SBF çözeltisi içerisinde 1 saat 144 saat ve 480 saat sonunda elde edilen Nyquist diyagramı

Görsel 2 incelendiğinde alaşımın SBF içinde kalma süresi arttıkça korozyon direncinin düştüğü görülmektedir. Bu eğrilerin kantitatif karşılığı bir devre analizi yöntemi yardımıyla da elde edilebilmektedir.

2.2. Literatürde Kullanılan Kaplama Malzemeleri ve Katkılar

Literatürde AM50 ve diğer bazı Mg alaşımlarının kaplanarak çeşitli ortamlarda korozyon davranışlarının incelendiği çalışmalar mevcuttur.

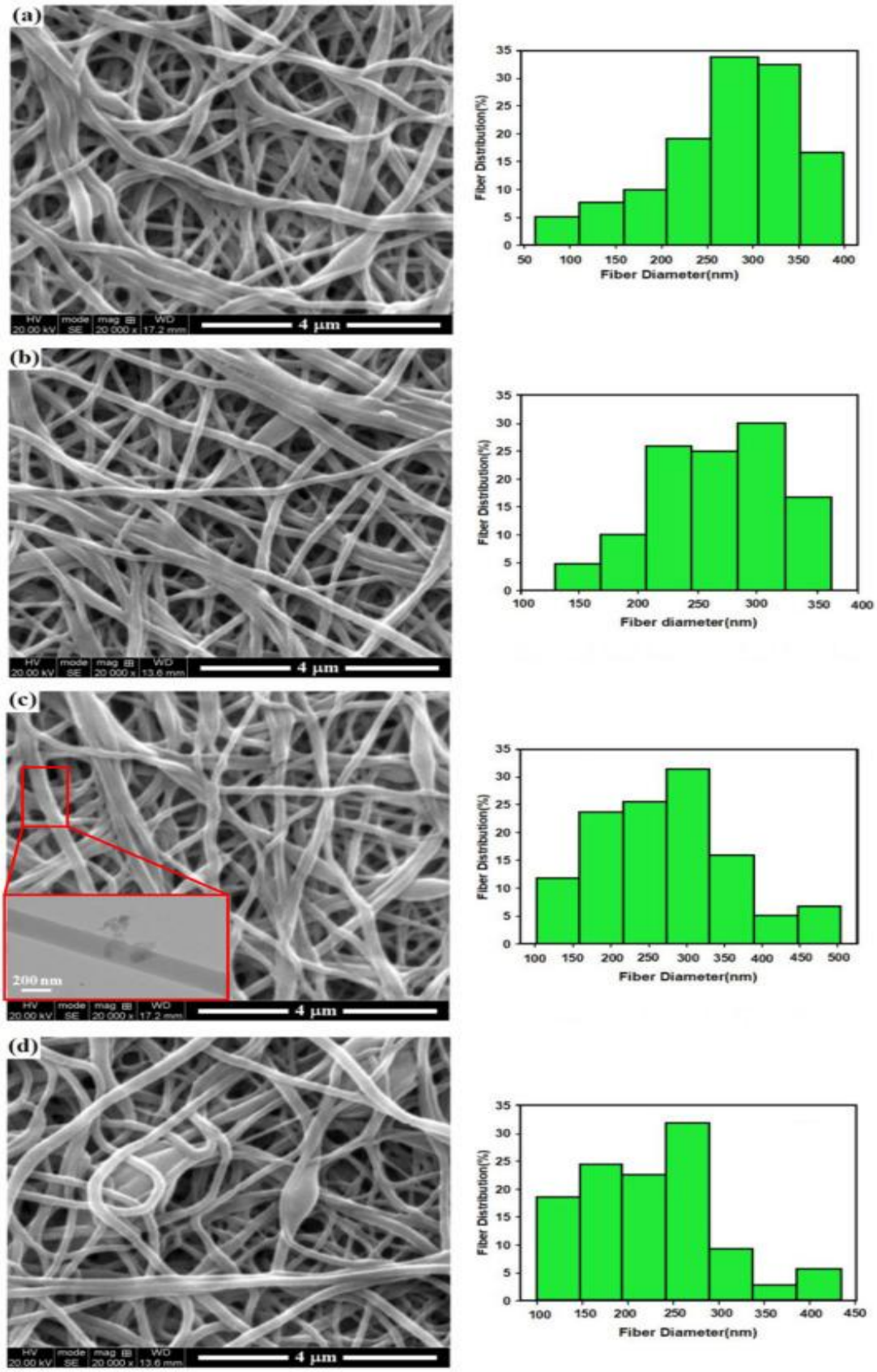
M.Karthega ve arkadaşları (2021), elektrospinning tekniği kullanılarak AM50 alaşımı üzerinde nanofibröz PCL ve PCL/TiO2 kompozit kaplama gerçekleştirmişler, PCL elektrospinning AM50 alaşımı için düzgün ve içi boş lifler elde etmişlerdir. SBF çözeltisindeki elektrokimyasal

korozyon çalışmaları, PCL kaplamanın PCL ağırlıkça %6 TiO2 içeren kompozitlerinden ve kaplanmamış alaşımdan daha yüksek korozyon direnci gösterdiğini doğrulamıştır[1].
Abdal-Hay ve arkadaşları (2016), PLA/HA ile kaplanmış AM50 alaşımlarının Icorr değerlerini %70 oranında azalttığını söylemişleridr. AJS, bir polimer çözeltisinden nanometre boyutunda elyaf çaplarına sahip membran elyafının üretilmesini sağlayan basit bir eğirme tekniğidir. Deneysel olarak yapılan bir çalışmada korozyon direncini ve özellikle nHA/PLA hibrit elyaflarla kaplanmış numuneler için Mg alaşımı numunelerinin biyo-uyumluluğunun önemli ölçüde iyileştirilmiş olduğu, hava jetli eğirme nHA/PLA hibrit nanofiber tabakası kullanılarak birbirine bağlı 3 boyutlu gözenekli membran tabakasının doğrudan biriktirilmesi, AM50 biyometalik implantların yüzey modifikasyonu için akıllı bir yaklaşım olarak düşünülebileceği belirtilmiştir[9].

M. Rahimi ve arkadaşları (2021), nanofibröz morfolojiye sahip yeni bir kitosan bazlı nanokompoziti AZ31 magnezyum alaşımına kaplamışlar ve AZ31 magnezyum alaşımının korozyon direncinin anodize ve elektro-eğirme nanofibröz kaplamaların birleştirilmesiyle önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermişlerdir. Ayrıca Kitosan/MBA nanokompozitlerin geçici implant uygulamaları için umut verici bir kaplama olduğunu söylemişlerdir[14].

Pedro J. ve arkadaşları (2020), elektrospinning tekniğinin korozyon önleyici kaplamaların tasarımına sunduğu olanaklara genel bir bakış sunmuş, elektrospinning sürecinde kullanılan farklı tipteki polimerik öncülleri (doğal, biyolojik olarak parçalanabilir, sentetik veya kopolimerler), korozyon inhibitörlerinin ve kendi kendini onaran ajanların kapsüllenmesini ve istenen morfoloji, gözeneklilik ve topografyaya sahip elektrospinning kaplamaları elde etmek için ayarlanabilen farklı operasyonel işlem parametrelerini AM50 ve AZ31 alaşımlarını da içine alan literatürsel bir çalışma olarak sunmuşlardır. Ayrıca biyokorozyon alanında, biyomedikal ve açık deniz endüstrilerinde elektrospinning kaplamaların büyük önem taşıdığını söylemişlerdir[15].

Bakhsheshi ve arkadaşları (2019), elektrospinning tekniği kullanarak Mg alaşımlarının yüzeyinin poli-L-laktik asit (PLLA)-akermanit (AKT)-doksisiklin (DOXY) nanofiberlerle başarılı bir şekilde kaplamışlardır. PLLA-AKT-DOXY nanofiberlerinin, çaplarında küçük değişiklikler olan pürüzsüz bir yapıya sahiptir olduğunu çalışmanın sonuçlarının, magnezyum alaşımlarında PLLA-AKT-5DOXY nanofiber kaplamalarının kullanılmasının kemik enfeksiyonu tedavisi için büyük bir potansiyele sahip olduğu fikrini desteklediğini söylemişlerdir[16].



Görsel 4. (a) PLLA, (b) PLLA-AKT, (c) PLLA-AKT-5DOXY ve (d) PLLA-AKT-10DOXY nanofiber kaplı Mg alaşımlarının SEM görüntüleri. Çerçevelenmiş alandaki SEM görüntüsü, PLLA nanofiberlerine gömülü AKT parçacıklarını temsil etmektedir [16].

Çalışmada PLLA nanofiber çapı, AKT ve DOXY eklendikten sonra şu şekilde azaltıldı görülmüştür: PLLA (348±34nm), PLLA-AKT (323±29nm), PLLA-AKT-5DOXY (312±27nm) ve PLLA-AKT-10DOXY (304±26nm). Nanofiber çapının azalmasının, AKT ve DOXY türlerinin eklenmesinden sonra artan iletkenlikten veya çözünürlükteki değişikliklerden olabileceğini söylemişlerdir[16].

Mg alaşımlar ile ilgili kaplama performansı ölçen çalışmalar mevcuttur ancak en çok kullanılan magnezyum implant alaşımların elektrospinning yöntemiyle kaplanarak korozyon dayanımını test etme işlemleri sınırlıdır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Elektrospinning yöntemi kaplama kalınlığı, gözeneklillik gibi bazı parametreleri kontrol etme açısından üstünlükleri olan bir yöntemdir. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle Mg alaşımları için vücut sıvısında korozyon testlerini de içine alan uzun dönem biyolojik testlerin eksikliği dikkat çekmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elektrospinning yöntemi AM50 alaşımının korozyon dayanımını güçlendirmede faydalı bir yöntemdir. PLA, PCL gibi polimer iskeletlere eklenecek olan HA, TiO_2 gibi moleküller korozyon direnci ve biyofonksiyonellik açısından başarılı olacaktır. Bununla ilgili bazı denemeler yapılmıştır. Bunun Gelecekte bu kombinasyonlara ek olarak daha çok katmanlı kaplama sistemleri, yüzey ön işlemleri ve biyolojik testlerle desteklenerek yeni yöntemler belirlenmelidir.

.

KAYNAKÇA

1. Karthega, M., Pranesh, M., Poongothai, C., & Srinivasan, N. (2021). Poly caprolactone/titanium dioxide nanofiber coating on AM50 alloy for biomedical application. *Journal of Magnesium and Alloys*, *9*(2), 532-547.

2. Bommala, V. K., Krishna, M. G., & Rao, C. T. (2019). Magnesium matrix composites for biomedical applications: A review. *Journal of Magnesium and Alloys*, *7*(1), 72-79.

3. Lei, T., Ouyang, C., Tang, W., Li, L. F., & Zhou, L. S. (2010). Enhanced corrosion protection of MgO coatings on magnesium alloy deposited by an anodic electrodeposition process. *Corrosion science*, *52*(10), 3504-3508.

4. Srinivasan, A., Ranjani, P., & Rajendran, N. (2013). Electrochemical polymerization of pyrrole over AZ31 Mg alloy for biomedical applications. *Electrochimica Acta*, *88*, 310-321.

5. Conceição, T. F., Scharnagl, N., Dietzel, W., & Kainer, K. U. (2012). Controlled degradation of a magnesium alloy in simulated body fluid using hydrofluoric acid treatment followed by polyacrylonitrile coating. *Corrosion Science*, *62*, 83-89.

6. Soujanya, G. K., Hanas, T., Chakrapani, V. Y., Sunil, B. R., & Kumar, T. S. (2014). Electrospun nanofibrous polymer coated magnesium alloy for biodegradable implant applications. *Procedia Materials Science*, *5*, 817-823.

7. Chakraborty Banerjee, P., Al-Saadi, S., Choudhary, L., Harandi, S. E., & Singh, R. (2019). Magnesium implants: prospects and challenges. *Materials*, *12*(1), 136.

8. Staiger, M. P., Feyerabend, F., Willumeit, R., Sfeir, C. S., Zheng, Y. F., Virtanen, S., ... & Witte, F. (2011). Summary of the panel discussions at the 2nd Symposium on Biodegradable Metals, Maratea, Italy, 2010. *Materials Science and Engineering B-Advanced Functional Solid-State Materials*, *176*(20), 1596-1599.

9. Abdal-Hay, A., Hasan, A., Lee, M. H., Hamdy, A. S., & Khalil, K. A. (2016). Biocorrosion behavior of biodegradable nanocomposite fibers coated layer-by-layer on AM50 magnesium implant. *Materials Science and Engineering: C*, *58*, 1232-1241.

10. Ashraf Talesh, S. A., & Azadi, M. (2024). Impact of Corrosion in Simulated Body Fluid on Fatigue Characteristics of 3D-Printed Polylactic Acid-Coated AM60 Magnesium Alloys. *Surfaces*, *7*(1), 88-107.

11. Chen, Z., Zhang, Z., Ouyang, Y., Chen, Y., Yin, X., Liu, Y., ... & Yang, W. (2023). Electrospinning polycaprolactone/collagen fiber coatings for enhancing the corrosion resistance and biocompatibility of AZ31 Mg alloys. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *662*, 131041.

12. Lu, Y., Deshmukh, S., Jones, I., & Chiu, Y. L. (2021). Biodegradable magnesium alloys for orthopaedic applications. *Biomaterials translational*, *2*(3), 214.

13. González, S., Pellicer, E., Suriñach, S., Baró, M. D., & Sort, J. (2013). Biodegradation and mechanical integrity of magnesium and magnesium alloys suitable for implants. *Biodegradation-Engineering and Technology*.

14. Rahimi, M., Aghdam, R. M., Sohi, M. H., Rezayan, A. H., & Ettelaei, M. (2021). Improving biocompatibility and corrosion resistance of anodized AZ31 Mg alloy by electrospun chitosan/mineralized bone allograft (MBA) nanocoatings. *Surface and Coatings Technology*, *405*, 126627.

15. Rivero, P. J., Redin, D. M., & Rodríguez, R. J. (2020). Electrospinning: A powerful tool to improve the corrosion resistance of metallic surfaces using nanofibrous coatings. *Metals*, *10*(3), 350.

16. Bakhsheshi-Rad, H. R., Akbari, M., Ismail, A. F., Aziz, M., Hadisi, Z., Pagan, E., ... & Chen, X. (2019). Coating biodegradable magnesium alloys with electrospun poly-L-lactic acid-åkermanite-doxycycline nanofibers for enhanced biocompatibility, antibacterial activity, and corrosion resistance. *Surface and Coatings Technology*, *377*, 124898.

ELEKTROSİPİNNİNG YÖNTEMİ KULLANILARAK ESANSİYEL YAĞLARIN ENKAPSÜLASYONU

Dr.Öğr.Üyesi Merve DAĞCI TEKİN
Dumlupınar Üniversitesi,KTBMYO

merve.dagci@dpu.edu.tr, 0000-0001-6639-8080

Dr.Öğr.Üyesi H.Deniz ADA
Dumlupınar Üniversitesi,KTBMYO

hdeniz.ada@dpu.edu.tr, 0000-0001-9991-8396

ÖZET

Elektrospinning yöntemi nanolif üretimi uygulamalarında son yıllarda geniş yer bulmaktadır. Enkapsülasyon da bu yöntemle gerçekleştirilen modern bir tekniktir. Enkapsülasyon yöntemi özellikle son yıllarda ilaç taşıyıcı, gıda koruyucu sistemlerde, biyolojik ajanların kontrollü salınımında dikkat çekmektedir. Esansiyel yağlar da antimikrobiyal ve antioksidan özellikleri nedeni ile bu alanlarda kullanılması uygun maddelerdir. Ancak uçuculukları ve çevresel duyarlılıkları nedeni ile doğrudan uygulamaları sınırlıdır. Bu nedenle elektrospinnig yöntemi ile nanolif içinde hapsetmek kullanımlarını kolaylaştırabilmektedir. Bu çalışmada elektrospinning yöntemi ile çeşitli esansiyel yağların enkapsüle edilmesi çalışmaları derlenmiş ve gelecekteki yenilikçi uygulamalar için önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrospinning, esansiyel yağlar, enkapsülasyon, nanolif.

1.GİRİŞ

Elektrospinning, nanometre ölçeğinde çaplara sahip polimer lifler elde etmek için elektrik kuvvetlerini kullanan basit bir yöntemdir ve çok sayıda uygulama için yüksek özgül yüzey alanı ve oldukça gözenekli yapılara yol açar[1]. Elektrospinning, polimerik çözeltinin elektrik yüklü bir jeti yoluyla sürekli nanofiberler üreten çok yönlü bir tekniktir. Son zamanlarda, bu teknik kollajen, PCL, PCL/ZnO , PCL/Hidroksiapatit, biyolojik olarak parçalanabilir Mg alaşımları için siprofloksasin yüklü jelatin gibi biyouyumlu polimer bazlı kaplamalar oluşturmak için kullanılmıştır. Elektrospinning'deki önemli parametreler, nanofiberin yapısını ve nanofibröz kaplama özelliklerini etkileyen voltaj, besleme hızı ve çalışma mesafesidir [2].

Nanofiberler genellikle çapı 1 µm'den küçük olan fiberler olarak tanımlanır. Nanometre çapındaki fiberler, diğer bilinen malzeme formlarına kıyasla çok yüksek bir yüzey alanı/hacim oranına, iyi mekanik performansa (sertlik ve mekanik mukavemet gibi) ve yüzey işlevselliklerine sahiptir. Bu olağanüstü özellikler, nanofiberleri adsorpsiyon, filtrasyon, kompozit destekleyiciler, sensörler, polimer piller ve biyomedikal gibi birçok kritik uygulama

için en uygun adaylar haline getirir [3]. İşlevsellikleri, her türlü gerekli ve benzersiz mekanik ve yüzey özellikleri için uygundur.

Esansiyel yağlar, bitkiler tarafından savunma ve sinyal verme amaçlarıyla sentezlenen uçucu bileşiklerin karmaşık karışımlarıdır EO'lar, bitkileri otçullara ve zararlı böceklere karşı, iştahlarını engelleyerek ve doğal rakiplerini çekerek korur. Patojenik mikroorganizmaları, sinir, sindirim veya endokrin sistemlerini hedef alarak ve büyümelerini azaltarak uzaklaştırırlar. EO'lar, fotosentetik aygıtı koruyarak ve fotosentezin termal toleransını artırarak, sıcaklık, hava akımı, ışık, karbondioksit ve ozon seviyeleri gibi abiyotik streslere karşı bitki adaptasyonunu destekler. Ayrıca, bitki üremesini kolaylaştırmak için türlere özgü polinatörler ve tohum dağıtıcılar gibi faydalı hayvanları çekmede önemli bir rol oynarlar[4].

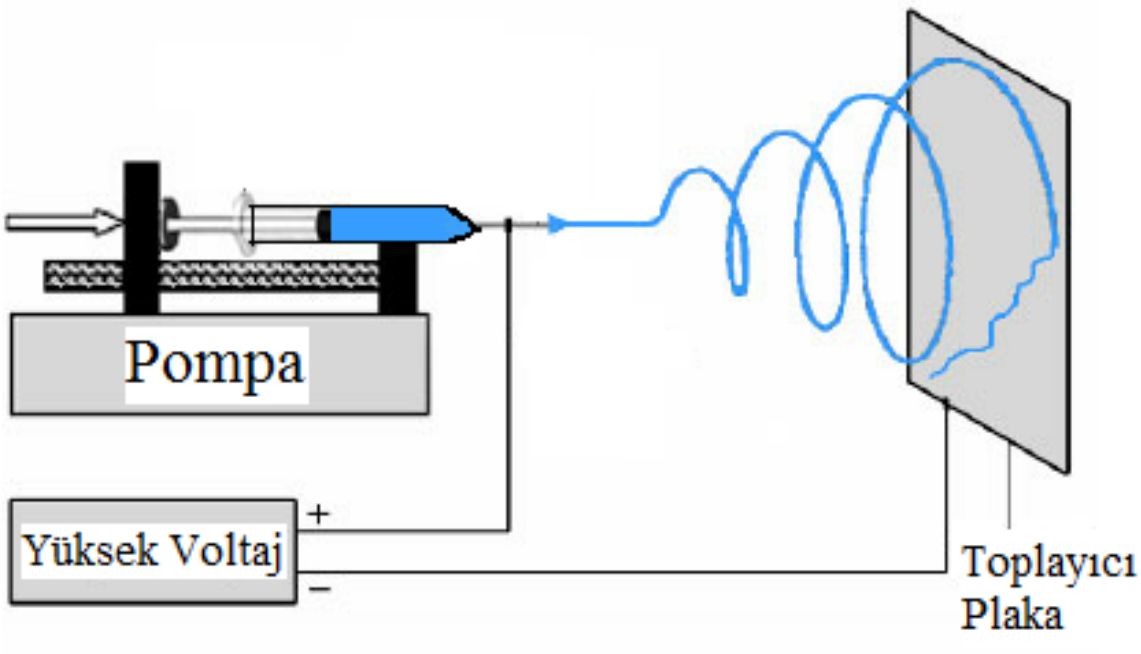
Bu çalışmada esansiyel yağların enkapsülasyonuna yönelik kullanılan yöntemler, taşıyıcı sistemler ve uygulama alanları literatür verileri yardımıyla incelenmiştir.

2. BULGULAR VE TARTIŞMA

2.1. Enkapsülasyon Teknikleri ve Elektrospinning

Enkapsülasyon için kullanılan teknikler sprey kurutma, koaservasyon, nanoemülsiyon ve elektrospinning yöntemleridir. Bunlardan elektrospinning yöntemi son yıllarda en çok tercih edilenler arasındadır.

Elektrospinning, nanofiberler üretmek için polimer çözeltisi ve güçlü elektrik alanı kullanan ucuz ve güçlü bir yöntemdir. Bunlar çeşitli biyolojik ve tıbbi uygulamalarda uygulanabilir. Geniş yüzey alanları, kontrol edilebilir yüzey fonksiyonelleştirmesi ve özellikleri ve tipik olarak yüksek biyouyumlulukları nedeniyle elektrospinning nanofiberler, ilaç dağıtım sistemlerinin üretimi için umut verici malzemeler olarak kabul edilir. Elektrospinning, çözünürlüğü, biyoyararlanımı ve ilaç salınımının hedeflenmesini iyileştirmek için zayıf çözünen ilaçları amorf katı dispersiyonlar olarak formüle etme potansiyeli sunar. Ayrıca, esansiyel yağların kapsüllenmesi için de başarılı bir stratejidir.



Görsel 1. Elektrospinnig yönteminin şematik gösterimi[3].

2.3. Elektrospinning ile Enkapsülasyonda Kullanılan Polimerler

Elektrospinning işlemlerinde sentetik ya da doğal kökenli birçok polimer kullanılmaktadır[5]. Polivinil alkol (PVA) suda çözünürlüğü ve lif formuna yatkınlığı ile sık tercih edilmektedir. Polilaktik asit(PLA) biyobozunur ve termoplastik bir özellik taşıdığı için özellikle gıda ve tıp alanlarında kullanılır. Kitosan (kitin türevi bir polisakkarittir) biyouyumlu ve biyoaktif olduğundan genelde Polikaprolakton (PCL) gibi diğer polimerlerle karıştırılarak kullanılır. PCL yavaş bozunan bir polyesterdir ve kitosan gibi diğer polimer türleri ile kompozit haline getirilebilir. Zein bir mısır proteinidir ve hidrofobik yapısı sayesinde uçucu yağların kapsüllenmesi için kullanılabilir.

2.2. Literatürde Esansiyel Yağların Enkapsülasyonu

Literatürde birçok bitkiye ait esansiyel yağın enkapsülasyonu ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Bunların birçoğu gıda, ilaç ve kozmetik sektörlerine yönelik içeriklere sahiptir.

Hosseini F. ve arkadaşları (2021), biberiye esansiyel yağını farklı yükleme konsantrasyonlarında (% 0, % 2,5, % 5 ve % 10 v/v) zein-elektrospinning liflerine kapsüllemişler, biberiye esansiyel yağının kimyasal bileşimi GC-MS ile belirleyerek elde edilen zein-elektrospinning liflerini SEM, AFM, XRD, DSC, FTIR ve NMR ile karakterize etmişlerdir. Esansiyel yağ ile yüklendikten sonra lifleri, E. coli'ye karşı disk difüzyon yöntemi ile antimikrobiyal özellikler açısından da değerlendirmişlerdir. Oluşan elektrospinning matlarının E. coli'ye karşı inhibisyon bölgeleri oluşturduğunu göstermiştir. Sonuçlar, elektrospinning liflerine biberiye esansiyel yağının yüklenmesinin gıda ambalajına nasıl fayda sağladığını açıkça ortaya koymuştur[6].

Çeliközlü S. (2025), Hypericum perforatum etanolik özütünü (HPE), elektrospinning chia tohumu musilajı (CM)/polivinil alkol (PVA) nanofiberlerine kapsüllemiş, nanofiber üretimi ni elektrospinning yöntemi kullanarak gerçekleştirmiştir. Nanofiberleri SEM, FTIR ve XRD ile karakterize etmiş, antioksidan özelliklerini belirlemiştir. Sonuç olarak, çalışmada kullanılan CM, biyopolimer içeriğiyle, elektroeğrilmiş nanofiber üretiminde sentetik polimerlere alternatif olabileceğini, biyolojik polimerlerle üretilen elektroeğrilmiş liflerin, biyomedikal uygulamalar için büyük potansiyele sahip olabileceğini, HPE yüklü bu nanofiberlerin, HPE sayesinde yara iyileştirme özellikleriyle nanofiber yara pansumanlarında kullanılabileceğini söylemiştir[7].

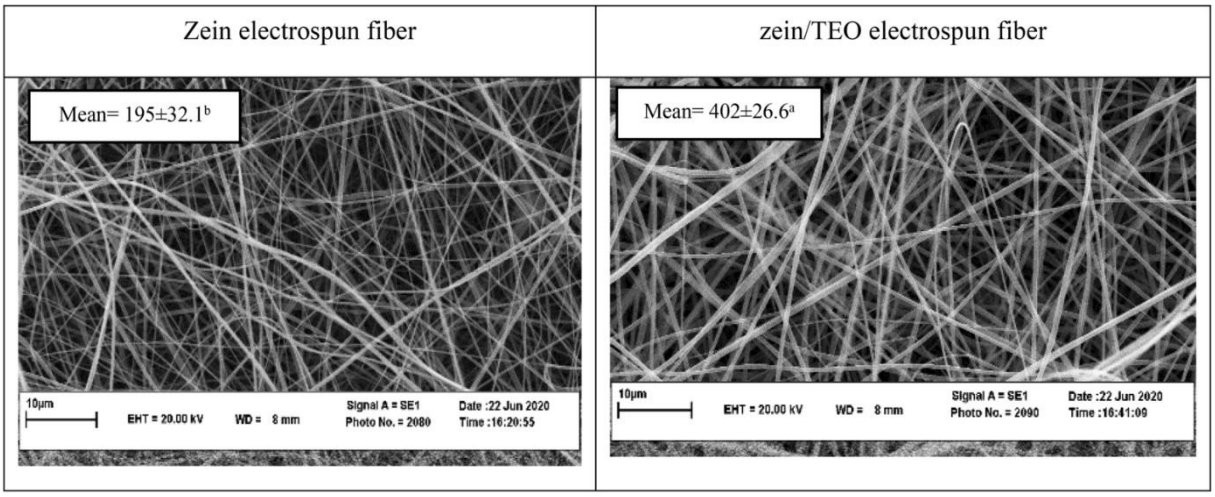
Mohammadian M. ve arkadaşları (2024), ısırgan otu ile zenginleştirmenin fırıncılık, süt ürünleri ve et formülasyonları gibi gıda ürünlerinin biyo-fonksiyonel özellikleri üzerindeki etkisini incelemişler, ısırgan otunun biyoaktif yenilebilir film ve kaplamaların üretiminde kullanımını araştırmışlardır. Isırgan otu özü kapsülleme için kullanılan farklı taşıyıcılar ve ısırgan otu tohumu zamkının özellikleri de incelemişler, sonuçlar, fenolik içerik ve serbest radikal temizleme aktivitesi gibi gıda ürünlerinin antioksidan özelliklerinin, ısırgan otu ve farklı yöntemlerle hazırlanan biyoaktif özütü ile zenginleştirme yoluyla önemli ölçüde iyileştirildiğini göstermiştir. Nanolipozomlar ve kitosan bazlı parçacıklar gibi farklı taşıyıcılar ısırgan otundan elde edilen biyoaktif bileşiklerin kapsüllenmesi için kullanmışlardır. Genel olarak, bu incelemenin ısırgan otunun biyoaktif moleküllerin zengin bir kaynağı olarak sağlık destekleyici özelliklere sahip süper besinler geliştirmek için çok işlevli bir bileşen olarak kullanılabileceğini gösterdiğini söylemişlerdir[8].

Saloberrieta I. ve arkadaşları (2020), antioksidan aktiviteye sahip nanofiberleri, poli(etilen oksit) (PEO) çözeltilerinde doğal bir Aloe Vera kabuğu özütü (AVE) (0, 5, 10 ve 20 ağırlıkça % yüklemelerde) ekleyerek elektrospinning tekniğiyle başarıyla elde etmişler, AVE'nin PEO'ya başarılı bir şekilde dahil edildiğini, taramalı elektron mikroskobu (SEM), Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (ATR-FTIR), termogravimetrik analiz (TGA) ve 2,2-difenil-1-pikrilhidrazil radikal süpürücü (DPPH), 2,2′-azinobis-(3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit) radikal süpürücü (ABTS) ve ferrik indirgeyici güç (FRAP) analizleriyle antioksidan aktivite ile kanıtlamışlardır. Sonuçların, elde edilen nanofiberlerin, depolama sırasında paketlenmiş gıdanın oksidasyonunu azaltmak için aktif gıda ambalajlama uygulamaları için umut verici malzemeler olabileceğini gösterdiğini söylemişlerdir[9].

Mannai F. ve arkadaşları (2023), kaktüs musilajı (CM) ve poli(vinil alkol) (PVA) kullanılarak, dereotu tohumu (Anethum graveolens L.) esansiyel yağı (DSEO) yüklü elektroeğrilmiş nanofiberler üretilerek uzun ömürlü taşıyıcılar oluşturmayı amaçlamışlar. 158 ± 18 ila 230 ± 26 nm çapında sürekli ve düzgün elektroeğrilmiş nanofiberleri, CM/PVA karışım çözeltisinden ve CM/PVA/DSEO emülsiyonundan başarıyla üretilmişlerdir. DSEO, CM, saf PVA ve elektroeğrilmiş nanofiberlerin termogravimetrik eğrileri, kullanılan polimerlerin ve esansiyel yağın etkili kimyasal etkileşimlere sahip olduğunu göstermiştir. Elektroeğrilmiş nanofiberlerin, Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere ve gıda kaynaklı patojenik bakterilere (Staphylococcus aureus ve Pseudomonas aeruginosa) karşı bakteriyostatik ve bakterisidal aktivite gösterdiğini söylemişlerdir. Karbonhidratlardan türetilen DSEO yüklü elektroeğrilmiş

nanofiberlerin, biyomedikal ve gıda paketleme uygulamalarında kullanım için aktif bir iç kaplama olarak umut vadettiğini de belirtmişlerdir[10].

Ansarifar ve arkadaşları (2022), zein lifleri içinde kekik yağı saklayarak enkapsülasyon verimliliğini % 75 olarak rapor etmişler ve ambalaj filminin çilek raf ömrünü uzattığını söylemişlerdir[11].



Görsel 2. Kekik yağlı ve Kekik yağsız zein liflerinin SEM görüntüsü (zein ve zein/TEO) [11]

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Özellikle son 5 yılda yapılmış çalışmalar elektrospinning yöntemiyle kapsülleme yönteminin esansiyel yağların biyoyararlılığını yüksek ölçüde koruduğunu gıda, kozmetik ve ilaç sektörlerinde çok yönlü uygulamalara imkan tanıdığını göstermektedir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar kontrollü salım profilleri ve ürün korunmasına yönelik olarak bu teknolojinin endüstriyel kullanım için önemli bir yere sahip olacağını göstermektedir.

.

KAYNAKÇA

1. Mori, C. L. D. O., dos Passos, N. A., Oliveira, J. E., Altoé, T. F., Mori, F. A., Mattoso, L. H. C., ... & Tonoli, G. H. D. (2015). Nanostructured polylactic

acid/candeia essential oil mats obtained by electrospinning. *Journal of nanomaterials*, *2015*(1), 439253.

2. Vahedi, S., Aghdam, R. M., Sohi, M. H., & Rezayan, A. H. (2023). Characteristics of electrospun chitosan/carbon nanotube coatings deposited on AZ31 magnesium alloy. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, *34*(1), 8.

3. Tekin, M. D., Celikozlu, S., & Aydin, H. (2023). Electrospun rocket seed (Eruca sativa Mill) mucilage/polyvinyl alcohol nanofibers: fabrication and characterization. *Iranian Polymer Journal*, *32*(2), 203-211.

4. Mele, E. (2020). Electrospinning of essential oils. *Polymers*, *12*(4), 908.

5. de Vos, P., Lazarjani, H. A., Poncelet, D., & Faas, M. M. (2014). Polymers in cell encapsulation from an enveloped cell perspective. *Advanced drug delivery reviews*, *67*, 15-34.

6. Hosseini, F., Miri, M. A., Najafi, M., Soleimanifard, S., & Aran, M. (2021). Encapsulation of rosemary essential oil in zein by electrospinning technique. *Journal of Food Science*, *86*(9), 4070-4086.

7. ÇELİKÖZLÜ, S. (2025). Use of electrospun chia seed mucilage nanofibers rich in biopolymers in encapsulation of Hypericum perforatum extract. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 100813.

8. Mohammadian, M., Biregani, Z. M., Hassanloofard, Z., & Salami, M. (2024). Nettle (Urtica dioica L.) as a functional bioactive food ingredient: Applications in food products and edible films, characterization, and encapsulation systems. *Trends in Food Science & Technology*, 104421.

9. Solaberrieta, I., Jiménez, A., Cacciotti, I., & Garrigós, M. C. (2020). Encapsulation of bioactive compounds from aloe vera agrowastes in electrospun poly (ethylene oxide) nanofibers. *Polymers*, *12*(6), 1323.

10. Mannai, F., Elhleli, H., Feriani, A., Otsuka, I., Belgacem, M. N., & Moussaoui, Y. (2023). Electrospun cactus mucilage/poly (vinyl alcohol) nanofibers as a novel wall material for dill seed essential oil (Anethum graveolens L.) encapsulation: release and antibacterial activities. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *15*(50), 58815-58827.

11. Ansarifar, E., & Moradinezhad, F. (2022). Encapsulation of thyme essential oil using electrospun zein fiber for strawberry preservation. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *9*, 1-11.

VIRTUAL WATER AND WATER RESOURCES MANAGEMENT: PERSPECTIVE VIEWS AND WAY FORWARD

Assoc. Prof. Dr. Seher DIRICAN
Sivas Cumhuriyet University
Faculty of Science
Department of Biology
TR-58140 Sivas, Turkey
E-Mail: sdirican@cumhuriyet.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-9130-5114

ABSTRACT

Virtual water has become increasingly popular in recent years due to its effects on water resources. This study is about virtual water and water resources management. While some countries in the world have water scarcity, some countries are water rich. The world population tends to increase and more water is needed for all urban, agricultural, industrial and environmental needs. Water scarcity causes significant stress on food production in many countries around the world. The threat of water scarcity has necessitated the development of a number of alternative methods to ensure efficiency in water use and management. It is necessary to protect existing water resources, develop alternative water resources, use technologies compatible with the ecological environment, and create sustainable water resources management policies. Management of water resources is a very difficult issue. The management of water resources requires a multi-dimensional organization with many stakeholders. Virtual water is a useful concept in evaluating water resources management. As a result, virtual water helps achieve both significant water savings and environmental sustainability. Therefore, virtual water cannot be used as a sole criterion in holistic water resources management. In holistic water resources management, it is mandatory to evaluate other factors besides virtual water.

Keywords: Virtual Water, Water Scarcity, Water Resources Management.

INTRODUCTION

Water, air, soil and their sustainability are very important for all living things and the future of the World. Therefore, water, soil and air must be protected and transferred to future generations. Water is one of the basic factors of life. Therefore, life without water is unthinkable. Although three-quarters of the Earth's surface is covered with water, the amount of fresh water suitable for human use is very limited. At the same time, limited water resources are unequally distributed on World. Rapid population growth and food requirements further increase water scarcity. As predicted by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, by 2025 two-thirds of the world's population will face "stress" conditions, with water volumes of 500 to 1000 cubic meters per person per year. In addition, the world population is estimated to reach ten billion by 2050. Accordingly, global food demand is expected to increase. The contradiction between food demand and water scarcity creates serious challenges for sustainable development and requires effective solutions (Wu et al. 2022). Türkiye is a country on the border of water scarcity. Turkey is among the countries experiencing water shortage, with 1543 cubic meters of water per capita per year (Gezer and Erdem, 2018). For these reasons, important steps need to be taken to develop sustainable water policies in the management of water resources in the world and in Turkey.

In addition to the increasing demand on water resources, the lack of these resources in the desired quantity and quality depending on time and location necessitates the most efficient use, or management, of existing water resources within economic, legal, social and environmental benefits. The fact that water is indispensable for life reveals the necessity of establishing a rational, sustainable and applicable water resources management system. For this purpose, water resource management models have been developed that adopt conservation-use principles aiming at the protection, development, efficient and rational use of water resources, protection of water and water-related ecosystems, and maintenance of ecological balance (Çelik and Eryılmaz, 2013). Water resources management, which is necessary to eliminate the problems that threaten water resources, must be established effectively. The aim should be to implement investments aimed at preserving the current state of water resources and improving their quality, with a harmonious and efficient management model, without experiencing a conflict of authority of public institutions.

Virtual water, which is put forward to solve water problems and considered as an alternative method, aims to enable countries to make effective water policies. In this context,

while countries will save water in a micro sense through the policies they implement within the country, they will also save water in a macro sense through virtual water trade (Şahin, 2016). Virtual water trade is also seen as a solution for countries to ensure food security and increase agricultural production. This study is focused on virtual water and water resources management.

VIRTUAL WATER CONCEPT

The production of most products and services requires the use of water. The water required to produce a product or service is called virtual water. Virtual water is defined by Allan (1998) as water embedded in commodities. Most of the water is considered "virtual" because it is used in the production of the product and is not ultimately included in the final product. Compared to virtual water, the actual water content of commodities is mostly insignificant (Akbostancı et al. 2023). That is, virtual water is the water consumed during the production process of a product.

VIRTUAL WATER CALCULATION

The virtual water calculation method varies according to sectors. The agricultural sector has the largest share in global virtual water flows. In calculating virtual water in agricultural products, production, cultivation area, plant irrigation water requirement, yield, export and import values are used. Virtual water calculation of agricultural products consists of five stages (Velasquez, 2007; Anaç et al. 2011).

In the first stage, the average yield is found: Cultivation Area (T: ha), Production (Y: ton) and Average Yield (R: tons/ha).

$$R= Y/T \quad (1)$$

By dividing each Crop Water Requirement (CWR: m^3/ha) by the average yield (R: tons/ha), the Specific Water Demand (SWD: m^3/tons) of each plant is obtained.

$$SWD= CWR/R \quad (2)$$

When the specific water use value is multiplied by export (X tons) and import (M tons), the virtual water values exported or imported are obtained. Amount of Virtual Water Exported (m^3).

$$VW.\ X = X.SWD \quad (3)$$

Amount of Imported Virtual Water (m^3).

$$VW.\ M = M.SWD \quad (4)$$

Finally, the net virtual water balance is obtained by subtracting the amount of virtual water imported from the amount of virtual water exported.

$$N.VW = VW.X - VW.M \quad (5)$$

Nowadays, with the rapid acceleration of international trade, there is an intense virtual water transfer between countries. Although each sector has different water contents on a product basis, virtual water transfer in international trade occurs mostly in the agricultural sector. Agriculture, which is the sector with the highest direct water use, also stands out in virtual water use. The virtual amounts of water used by agricultural products depend on climate, geography, input used and production technology. Additionally, virtual water amounts vary from product to product. While calculating the virtual water amounts of animal products, grains, grass and similar feed products used while raising animals and drinking-use water are included in the calculation (Şahin, 2016). The virtual water content in animal product production is higher than in plant products. Here, the amount of water consumed by the animal and used for its food increases the virtual water ratio. Apart from food-oriented agricultural activities, energy and industrial activities are also important virtual water consumers. For example, with an annual water consumption of 19 billion cubic meters through 8359 coal-fired thermal power plants installed in the world alone, it consumes as much water as the drinking and domestic water needs of more than 1 billion people (Demirel, 2023).

VIRTUAL WATER VALUES OF SOME COMMONLY USED PRODUCTS

Each product contains different amounts of virtual water. The virtual water amounts in products vary depending on the way the products are processed and the physical conditions of the production sites. Although their areas of use are different, it is possible to say that virtual water calculations can be made for all products and that all products used have a water cost. In this context, in addition to plant and animal agricultural products, industrial products also contain virtual water. While water is used for cooling or washing industrial products, it is required for the growth of plants, feeding and watering of animals in the agricultural production process.

Therefore, all products contain virtual water, and the amount of virtual water can be calculated for all products. When calculating the virtual water content of a product, each step in the production process, production location, period, water content of intermediate products, production method, that is, all factors affecting the production process and all processes that the product goes through are included in the calculation (Hoesktra and Hung, 2005; Sat, 2023). The global average virtual water contents of some commonly used products are presented in Table 1 (Okutan and Akkoyunlu, 2021). As observed in Table 1, when a cup of coffee is consumed, not only the volume of that cup but also a total of 140 liters of water is consumed. Because the processes of growing, collecting, packaging and transporting these coffee grains, that is, from the producer to the consumer, are also taken into account. Water is used in all these processes.

Table 1. Global average virtual water contents of some commonly used products.

Name of the product	**Amount**	**Virtual Water Content (L)**
A Glass of Milk	250 ml	250
A Cup of Coffee	125 ml	140
A Cup of Tea	250 ml	30
A Slice of Bread	30 gr	40
One Potato	100 gr	25
One Apple	100 gr	70
One Orange	100 gr	50
One Cotton T-shirt	500 gr	4100
One Pair of Jeans	1000 gr	10850
One Hamburger	50 gr	2400
One Egg	40 gr	135
One Microchip	2 gr	32
Wheat	1 kg	1300
Rice	1 kg	3400
Sheep and Goat Meat	1 kg	8763
Beef	1 kg	15500
Chicken Meat	1 kg	3900
Cheese	1 kg	5000
Tomato	1 kg	180
Banana	1 kg	860
Chocolate	1 kg	24000
A Pair of Shoes	1 kg Leather	8000
Water	0.5 L Half Pet Bottle	5,5
Paper	1 Piece A4	10

(Reference: Okutan and Akkoyunlu, 2021).

Table 1 does not include fish and other aquatic products, the production of which cannot be associated with water consumption. Therefore, for this type of products, it was suggested by Zimmer and Renault (2003) to separate virtual water from the real process and estimate the virtual water value with the principle of nutritional equivalence. In accordance with this recommendation, the virtual water value of fish and other aquatic products is reported as 5 m^3/kg, with an energy and protein equivalent based on alternative animal products.

As observed in Table 1, all the products we consume significant amounts of water, even though it is not written on them. To save water, it is generally recommended to reduce personal water consumption. Of course, it is very important to reduce personal water consumption. However, the virtual amount of water used in the manufacturing and growing of products is approximately 5-6 times the personal water consumption we consume. When calculating the cost of products today, when global warming and environmental problems have reached very dangerous levels, the cost of water, which is often underestimated or even neglected, will appear as the most important and expensive input cost in the manufacture of products. Because fresh water is about to become one of the rare and valuable substances in nature, such as gold and silver. Currently, virtual water values in products produced in the world and in Turkey are not reflected in the costs as they should be. Because although the importance and value of water is known, it is ignored. In the near future, the virtual water value of products will appear as an important cost element (Temiroğlu, 2022). For example, everyone will realize that when a single t-shirt is exported, 4100 liters of fresh water are also exported (Table 1). Although not for now, in the very near future we are talking about, the value of 4100 liters of water may be several times the sales price of that t-shirt. In this respect, all the products produced and sold to the domestic and foreign markets are not simple products, but are actually very valuable and therefore expensive products. Especially when exporting, the infrastructure for reflecting virtual water costs on prices should be prepared. All manufactured and grown products are not simple and contain virtual water, which is actually very expensive. For this reason, they are very valuable.

VIRTUAL WATER TRADE

Virtual water trade refers to the idea that virtual water is also exchanged when any product is exchanged (Ahmadpari et al. 2018). For example, when a country imports one ton of wheat instead of producing it domestically, it saves approximately 1300 cubic meters of real domestic

water. In addition, the exporting country exports 1300 cubic meters of real water used to grow wheat as virtual water.

In a water-scarce country, virtual water imports can relieve the pressure on the country's own water resources. Virtual water should be considered as an alternative water source. The use of virtual water resources can be a tool to ensure national and regional water security. More precisely, virtual water trade can be a tool in solving geopolitical problems and even prevent wars over water (Allan, 1998; Allan, 2003). Virtual water trade between or within countries can also be seen as an alternative to real inter-basin water transfers.

If a country exports a product that uses water in its production, it also exports water in a virtual way. This means virtual trade in water. In this way, countries with abundant water resources indirectly support countries experiencing water scarcity. It is almost impossible to trade actual water directly between water-deprived countries and water-rich countries due to costs and distances. However, virtual water trade with products that use water in their production is more usable and simpler to implement. Virtual water trade poses a great advantage for water-poor countries. Thanks to virtual water trade, countries can allocate their resources for more essential needs and import the products they need, instead of producing products with limited water resources. In this way, they can protect limited water resources. With water trade, countries protect their water resources, and water can be directed to sectors where higher productivity and higher value goods are produced. Virtual water trade is a highly effective trading system in many areas, from efficient use of water resources to water saving. Many countries gain great advantages thanks to virtual water trade (Aytemiz and Diler, 2015). Virtual water trade occurs when products are produced in a region that uses local water resources, but the products are exported to another region for consumption. Water is redistributed between regions through trade in products and services. Virtual water trade is used as a tool in planning and managing water resources (Ren et al. 2020).

Despite the positive features of virtual water trade, there is a risk that the export of water may damage the water resources of the exporting country in the long term. When making decisions based on virtual water trade, policy makers should stay away from initiatives that will reduce the renewable amount of water resources. Such decisions to be taken in the short term are seen as likely to have consequences that could harm the country and the region in the long term (Aytemiz and Diler, 2015). However, virtual water trade is an effective economic policy

for countries with low water resources. For these reasons, virtual water trade will continue to be discussed as a concept that has both advocates and critics.

USE OF VIRTUAL WATER IN WATER RESOURCES MANAGEMENT

Water resources management is defined as the planned development, distribution and use of water resources. Water resources management covers a wide range of areas of interest such as agricultural, domestic and industrial water use, as well as water quality, wastewater use, water law, international law and health. In order to meet current and future needs and ensure food security, water resources need to be handled with a holistic management approach that will include not only physical but also social, legal, economic and environmental factors. In recent years, holistic water resources management has come to the fore and has begun to be implemented in many countries. The basis of holistic management is to accept water as both a natural resource and a commodity whose intended use may vary depending on its quantity and quality. Preventing water losses in water user sectors, using water effectively, implementing new water-saving technologies and developing water resources at the basin level are becoming increasingly important. Therefore, in recent years, water resources have been developed and managed to meet water needs in harmony with the environment (Aküzüm et al. 2010).

Virtual water has emerged as a strategic concept that provides hope for a long-term solution to the ever-increasing pressures on the world's water resources. The virtual water concept brings a new approach to water and food production by comparing the amount of water in a product that can be purchased from international markets with the amount of water that will be used to produce this product. Water resources management requires a full understanding of virtual water and its importance. Because whether or not they constitute a large part of a country's water needs, it is very important to know the virtual water amounts of the products produced and consumed within the country. Determining the products that have the largest share in virtual water imports and exports and determining production and import policies accordingly is very important for a country's economy and food security. Virtual water helps bring a more rational approach to the management of natural resources and direct them to production areas with natural conditions where sustainability as well as production efficiency is best ensured (Barlas, 2004).

In virtual water transfer, it is recommended to take into account the opportunity costs of production within the country, to evaluate comparative advantages, and to take into account other social, legal, economic and environmental dimensions of policy objectives (Wichelns, 2010). There is a close relationship between virtual water and sustainable and holistic management of water resources. Virtual water transfer creates a significant opportunity in optimizing water resources management. In particular, agricultural production should be directed from areas with low water productivity to areas with high productivity, thus increasing water use efficiency. In other words, the efficiency obtained from unit water is increased. Countries suffering from water scarcity can make virtual water transfers by importing products that use a lot of water without producing less or at all. Bahrain, Kuwait, Qatar, Israel, Lebanon, Jordan and Malta are among the countries that significantly reduce water stress with intensive virtual water transfer. Significant water savings can be achieved with virtual water transfer. The basic principle here is that the virtual water flow is from countries with high water productivity to those with low productivity. Countries with limited natural resources can benefit from these resources by trading goods produced in countries with abundant natural resources. Countries with limited water resources can import products that require more water in their production processes and export products that require less water. Thus, virtual water imports relieve the pressure on the country's own limited water resources. Virtual water should be considered as an alternative source. In this respect, virtual water is an important element in water conservation and food safety. The holistic water management approach requires more careful consideration of environmental impacts in the production processes of countries with limited water resources. With virtual water transfer, it is easier to implement the holistic management of water resources and contributes to the prevention of pollution in basins. (Anaç et al. 2011). For these reasons, virtual water transfer is of great importance in terms of protecting ecosystems and preventing basin pollution.

CONCLUSION

Water is a basic substance not only for humans but for all living things. The demand for water is increasing day by day. Water resources are in danger of decreasing due to global warming, climate change, misuse and pollutants. Unless necessary precautions are taken, many countries in the world will suffer from serious water scarcity in the future. Problems experienced in the capacity and quality of water resources emphasize that it is inevitable to benefit from water

resources at an optimum level. For these reasons, it is necessary to protect existing water resources, develop alternative water resources, use technologies compatible with the ecological environment, and create sustainable water resources management policies. Water resources management is a very difficult issue. Water resources management requires a multi-dimensional organization with many stakeholders. Considering the social, legal, economic and environmental outcomes of water, the strongest harmonization and coordination of water resources management policies is mandatory. In this context, establishing and operating this organization in a healthy manner will play an active role in solving current problems. For policies to be determined for sustainable development, the managerial efficiency of water resources management should be increased, and a holistic organization that includes social, legal, economic and ecological dimensions should be provided in accordance with the natural cycle of water. Protecting water as a strategic resource, utilizing water resources efficiently and improving the quality of manpower in water resources management requires the adoption of a total quality approach by all water-related stakeholders. Virtual water should be adopted as an alternative water source. Virtual water is very useful in determining water resources management. In water resources management, it is mandatory to evaluate other factors besides virtual water. Virtual water is an integral component in the effective and sustainable management of water resources.

REFERENCES

Ahmadpari, H., Ghareghani, E.N., Tajareh, F.V. 2018. Virtual water a solution to water resources management. 2nd International Conference on Applied Research in Agriculture, Natural Resources and Environment, Hamedan, Iran, 1-16.

Akbostancı, E., Tunç, G.İ, Türüt-Aşık, S. 2023. Virtual water flows of Turkey's agricultural products: A gravity approach. *Journal of Cleaner Production*, 420: 138453: 1-10.

Aküzüm, T., Çakmak, B., Gökalp, Z. 2010. Evaluation of water resources management in Turkey. *Reserach Journal of Agricultural Sciences*, 3(1): 67-74.

Allan, J.A. 1998. Virtual water: A strategic resource global solutions to regional deficits. *Ground Water*, 36(4): 545-546.

Allan, J.A. 2003. Virtual water eliminates water wars? A case study from the Middle East. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, 137-145.

Anaç, S., Özçakal, E., Mengü, P.G. 2011. Virtual water concept and importance in irrigation management. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University*, 48(2): 159-164.

Aytemiz, L., Diler, Ö. 2015. Economics of virtual water. *Journal of the Human and Social Science Research*, 4(2): 376-389.

Barlas, E. 2004. The role of virtual water in solving water conflict. Hacettepe University, Institute of Social Sciences, Department of International Relations, Master Thesis, pp. 111.

Çelik, B.Ç., Eryılmaz, H. 2013. An overview of water resources management in Turkey. 3rd International Bursa Water Congress, Bursa, Turkey, 1073-1077.

Demirel, M. 2023. Water as a trade commodity: Water footprint, virtual water and virtual water trade. *Journal of Academic Projection*, 8(2): 373-406.

Gezer, A., Erdem, A. 2018. Determination of public awareness on water stress, water scarcity and water saving: Akdeniz University case study. *Journal of Natural Hazards and Environment*, 4(2): 113-122.

Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q. 2005. Globalisation of water resources: International virtual waterflows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15: 45-56.

Okutan, P., Akkoyunlu, A. 2021. Identifcation of water use behavior and calculation of water footprint: A case study. *Applied Water Science*, 11(127): 1-13.

Ren, Y., Huang, K., Yu, Y., Hu, J. 2020. Inter-regional agricultural virtual water flow in China based on volumetric and impact-oriented multi-regional input-output (MRIO) approach. *Water*, (12)251: 1-16.

Sat, S. 2023. Virtual water trade: An empirical application, for Turkey, on agricultural products. Department of International Trade Graduate School of Alanya Alaaddin Keykubat University, Doctorate Thesis, pp. 116.

Şahin, B. 2016. A global problem: Water scarcity and virtual water trade. Hitit University, Institute of Social Sciences, Department of Economics, Master Thesis, Çorum, Turkey, pp. 110.

Temiroğlu, A. 2022. Virtual water value - water footprint. *Journal of Economics and Business World*, 1-3.

Velasquez, E. 2007. Water trade in Andalusia, virtual water: An alternative way to manage water use, Ecological Economics, Elsevier Science Publications, 201-208.

Wichelns, D. 2010. Virtual water: A helpful perspective, but not a sufficient policy criterion. *Water Resources Management*, 24: 2203-2219.

Wu, H., Jin, R., Liu, A., Jiang, S., Chai, L. 2022. Savings and losses of scarce virtual water in the international trade of wheat, maize, and rice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4119): 1-12.

Zimmer, D., Renault, D. 2003 Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results. Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water-Research Rapport Series, No: 12: 93-109.

ALGAE AND ESSENTIAL FATTY ACIDS: A RICH BIOLOGICAL RESOURCE FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENHANCED PRODUCT PRODUCTIVITY

Assoc. Prof. Dr. Seher DIRICAN
Sivas Cumhuriyet University
Faculty of Science
Department of Biology
TR-58140 Sivas, Turkey
E-Mail: sdirican@cumhuriyet.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-9130-5114

ABSTRACT

Algae have a large biomass and a rich biodiversity. They are rich sources of macro and micro nutrients, depending on their species. Algae are a rich biological source for preventing hunger, sustainable development and improved product efficiency. This study focuses on algae and essential fatty acids. Algae are the basic building blocks for essential fatty acids to enter food chains. Because this is a natural ability that most animal organisms do not have. Algae are the first essential fatty acid producers in food chains in aquatic ecosystems, grow faster under different trophic production conditions and are a sustainable food source. The survival and growth rates of aquatic animal organisms are directly related to the essential fatty acid content in their food. Since algae synthesize essential fatty acids, they should be consumed directly as food by aquatic animal organisms and humans. Consumers should be informed by carrying out education and advertising activities on the benefits of algae consumption for a healthy life, balanced nutrition and essential fatty acids. Because algae will form the sustainable development basis and a rich biological resource of nutrition in the future.

Keywords: Algae, Essential Fatty Acids, Food, Nutrition, Sustainable Development.

INTRODUCTION

Algae can be observed in different morphologies, from microscopic forms to plants that are meters long. Algae generally live in aquatic ecosystems such as oceans, lakes, streams, puddles and have a very wide distribution area. Algae can increase their weight two or three times in a day under suitable conditions, they are easy to produce, they are defined as environmentally friendly organisms since they use waste materials and they can have an important place in meeting nutritional needs in the future (Alçay et al. 2017). Algae are simple-structured, autotrophic and chlorophyll-containing organisms. They can be single-celled or multicellular, and they can form colonies in groups. Algae have three different reproduction systems; vegetative reproduction, sexual and asexual reproduction. The most common of these is vegetative reproduction. Algae are classified into two large groups as prokaryotic (microalgae) and eukaryotic (macroalgae) according to their structural features. Algae are the first producers of aquatic ecosystems. Algae are very important especially because of the various substances they contain and especially essential network acids (Aktar and Cebe, 2010).

The first ring in the food chains of aquatic ecosystems is algae. Algae are the most important producer organisms, especially in aquatic food chains. Algae provide food and shelter to various aquatic organisms. Information on the use of algae by humans goes back to ancient times. It is known that algae were used especially for human and animal nutrition, fertilization of fields and treatment purposes in those times. In later years, algae were used in various areas such as food supplements, cosmetics, biofuel, glass and iodine production (Durucan and Turna, 2014). The production of essential fatty acids from algae is an established and developing industry in recent years. There are some important reasons to consider the production of essential fatty acids, especially from microalgae. The reason why the amount of unsaturated fatty acids in microalgae is higher compared to fish oil is due to the ability of microalgae to synthesize these fatty acids. In addition, it has been seen that antioxidant substances such as astaxanthin and carotene found in the structure of microalgae protect these fatty acids against oxidative conditions as an important factor (Eryalçın, 2011). Such versatile areas of use and advantages in health and nutrition bring algae to an important position worldwide. Algae are micro and macroorganisms and can make environmentally friendly production using solar energy. Therefore, algae are a safe and sustainable food source. The essential fatty acids contained in algae support them to be a sustainable and promising food source. In this context, algae have come to the forefront more in recent years due to increasing food, nutrition and environmental concerns. In this study, algae and essential fatty acids were examined in general.

ALGAE AND ESSENTIAL FATTY ACIDS

Algae are polyphyletic, noncohesive, and photosynthetic organisms that can produce oxygen. Algae can photosynthesize like plants, form similar storage compounds, use the same defense mechanism against predators and parasites, and in addition, most plant and algae species exhibit similar morphological characteristics. In addition to all the similarities, algae do not have root, stem, and leaf structures and a specific vascular tissue like plants (Şahin, 2010).

Fatty acids are organic acids with 4 to 36 carbon atoms. Although they usually have a straight hydrocarbon chain, it is also possible to encounter branched fatty acids with methyl and methyl groups, hydroxyl groups and three-carbon rings. The physical properties of fatty acids vary according to the length of their hydrocarbon chains and their degree of unsaturation. Due to their apolar hydrocarbon chain, fatty acids have low solubility in water (Kalaycıoğlu et al. 2006). Fatty acid composition in plants is determined by many factors such as temperature, latitude, planting time, drought, soil, as well as environmental factors such as genetic, physiological and morphological factors. In addition, the unique fatty acid composition of each oil plant is not fixed and varies depending on many factors. Therefore, knowing what kind of change will occur in the fatty acid composition of oil plants under what conditions is important for oil quality. At the same time, the amount and type of fatty acids determine the way of use. Knowing the fatty acid composition of oils will ensure that oils are produced according to their intended use. For this purpose, it will be possible to produce oils suitable for the purpose by growing the desired types in suitable regions (Karaca and Aytaç, 2007).

Fatty acids are classified into two groups: saturated and unsaturated. Unsaturated fatty acids contain one or more double bonds. Those with one double bond are monounsaturated fatty acids. Those with more than one double bond are polyunsaturated fatty acids. Although saturated fatty acids and monounsaturated fatty acids are produced in humans and animals, polyunsaturated fatty acids cannot be produced in humans and animals. Therefore, they are essential. Fatty acids that cannot be produced in the bodies of humans and animals and must be taken from outside with food are called essential fatty acids. Unsaturated fatty acids are abundant in vegetable oils such as olive oil, hazelnut, canola, corn, soy, sunflower oil and especially in water products (Çakmakçı and Kahyaoğlu, 2012). Long-chain unsaturated fatty acids of the omega-3 and omega-6 series synthesized from essential fatty acids have many functions in organisms and also form the precursors of prostaglandins. Prostaglandins are

hormone-like substances and are responsible for many activities in the body such as inflammation, pain, edema, blood pressure, heart, kidneys, digestive system, regulation of body temperature, allergic reactions, blood clotting and the production of some other hormones (Çelebi et al. 2017).

Fatty acids that contain one double bond in their structure are monounsaturated fatty acids. Since monounsaturated fatty acids play a role in reducing cardiovascular diseases, their consumption should be increased. Fatty acids that contain more than one double bond are polyunsaturated fatty acids. Polyunsaturated fatty acids are important and essential for health and nutrition in organisms (Çakmakçı and Kahyaoğlu, 2012). Asthma, hyperactivity syndromes, bipolar disorder, cancer, cardiovascular diseases, depression, diabetes, alzheimer, eczema, hypertension, lupus, migraine, multiple sclerosis, obesity, osteoarthritis, osteoporosis, psoriasis, rheumatoid arthritis are diseases associated with essential fatty acid deficiency. Eczema-like skin rashes, hair loss, liver damage, behavioral disorders, kidney damage, excessive sweating, increased susceptibility to infections, delayed wound healing, decreased sexual power in men, miscarriage risk in women, inflammation, heart and circulatory system disorders and slow growth are symptoms related to omega-6 fatty acid deficiency. Slow growth, poor vision, poor learning ability, lack of concentration, irregular motor movements, numbness in arms and legs and behavioral changes are associated with omega-3 deficiency. Adding these fatty acids to treatment and diet protocols prepared for chronic diseases such as cardiovascular diseases, neurological, neuropsychiatric diseases, inflammatory diseases, cancer, diabetes, arthritis and colitis, which are associated with a deficiency of essential fatty acids, produces positive results (Konukoğlu, 2008; Salar and Uz, 2021). Since they are essential, that is, they are not synthesized in the body and must be taken endogenously, omega-3 and omega-6 fatty acids come to the forefront.

The chain lengths of fatty acids in algae are generally between carbon 14 and 22. Microalgae in particular are notable for their lipid compositions rich in polyunsaturated fatty acids with 18, 20 and 22 carbons. The total lipid content of algae varies between 7 percent and 62 percent. The lipid content of algae can increase the amount of usable nitrogen in the environment by limiting it, but the same does not apply to the amount of biomass. Algae have gained importance in the production of omega series fatty acids, which are essential for health and nutrition. Algal species living in the sea form fatty acids with longer chains and more than two double bonds compared to algae living in freshwater (Bayizit et al. 2001). The total percentage dry weight of fatty acids, lipid group composition, fatty acid length and degree of

saturation vary considerably among algae species. In addition, these parameters vary according to living and production conditions such as temperature, pH value, light amount and nutrient availability (Breuer et al. 2013).

The lipid chain length and unsaturation degree of microalgae, which generally have a lipid content of 20-50 percent on a dry weight basis, are higher than plants with high levels. Microalgae contain high amounts of essential nutritional elements, especially omega-3, long-chain polyunsaturated fatty acids such as eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid. Microalgae such as *Chlorella*, *Dunaliella*, *Haematococcus*, *Schizochytrium*, *Spirulina*, *Porphyridium cruentum* and *Crypthecodinium cohnii* are considered important sources of omega-3 polyunsaturated fatty acids. While macroalgae have a low lipid content of 5-10 percent on a dry weight basis, their polyunsaturated fatty acid content is at the same level or higher than that of land plants (Sasa et al. 2020).

Omega-3 fatty acids such as eicosapentaenoic acid, decosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid are first synthesized by algae such as *Dunaliella salina*, *Spirulina platensis*, *Chlorella pyrenoidosa* that live in water. These fatty acids then accumulate in increasing amounts by passing through the food chain to various zooplanktons and mussels, oysters, shrimps and fish. Therefore, eicosapentaenoic acid, decosapentaenoic acid and decosahexaenoic acid, which are omega-3 series fatty acids, are essential fatty acids found abundantly in fish. Therefore, fish are an important food source for eicosapentaenoic acid, decosapentaenoic acid and decosahexaenoic acids, which are necessary for human metabolic activities. The fatty acid composition of a fish is directly related to the food diet or species diversity of that fish. Although there is very little omega-3 in lean fish, this rate is higher in deep-sea fish with dark meat. Cold-water bottom fish are especially rich in omega-3 (Öztürk, 2014).

Some algae are commercially used in production because they contain high amounts of essential fatty acids. Algal species such as *Chlorella minutissima*, *Crypthecodinium cohnii*, *Dunaliella tertiolecta*, *Euglena gracilis*, *Porphyridium cruentum*, *Monodus subterraneus*, *Navicula saprophilla*, *Nitzschia ovalis*, *Nannochloropsis gaditana*, *Phaedactylum tircornatum*, *Spirulina platensis*, *Spirulina maxima* and *Thalassiosira sp.*, are commercially produced because they contain high amounts of essential fatty acids. In general, it is stated that the fatty acid composition of red algae is very similar to that of brown algae (Eryalçın 2011; Bayizit et al. 2014). In recent years, studies have been carried out on algae and essential fatty acid

composition. In this context, Durmaz et al. (2002) reported that the eicosapentaenoic acid content of *Porphyridium cruentum* algae was determined as 7.42 percent by the oven drying method, while it was determined as 6.57 percent as a result of drying in a desiccator.

Liu and Lin (2005) studied the growth of *Monodus subterraneus* algae at 15, 20, 25 and 30 °C in culture conditions and found that it synthesized eicosapentaenoic acid at levels ranging from 31 percent to 34 percent in sodium acetate concentration.

Chen et al. (2007) reported that the fatty acids detected in the highest amounts among the lipid classes of *Nitzschia laevis* algae were tetradecanoic acid, hexadecanoic acid, palmitoleic acid and eicosapentaenoic acid, which constituted 75.9 percent of the total lipid content.

Mendes et al. (2007) determined the concentration of 1.9 g/L decosahexaenoic acid in the development conditions of heterotrophic *Crypthecodinium cohnii*, known to have a high potential for producing decosahexaenoic acid, using carrot pulp syrup as a carbon source and ammonium chloride and yeast extract as nitrogen sources.

Liang et al. (2009) determined that the lipid content of *Chlorella*, a green alga, was 38 percent in autotrophic conditions, which was lower than in heterotrophic conditions, while it was reported that the lipid content increased by 54 mg/L day with the addition of 2 g/L glucose to the optimum lipid production medium.

Park et al. (2018) cultured *Tetraselmis sp*., in four different salinities (30, 55, 80 and 105 ppt) in order to examine the fatty acid changes in their study. They reported that the highest fatty acid content was obtained at 80 ppt.

Rocha et al. (2021) found in his study that *Calliblepharis jubata* algae had the highest essential fatty acid value. They also emphasized that some algae may have higher essential fatty acid values and that algae are a good source of unsaturated fatty acids.

Ahmed et al. (2023) found the highest values of fatty acids in the green macroalgae *Caulerpa racemosa*, while the lowest value was found in the reed macroalgae *Hypnea cornuta*.

As can be seen, algae have a rich content of essential fatty acids that support health. Recent studies have revealed the importance of algae as environmentally friendly sources of essential fatty acids. This new perspective offers a hopeful and exciting perspective on sustainable nutrition and food production.

CONCLUSION

As a result, essential fatty acids are used as valuable components in nutrition, food supplements and medicines due to their natural occurrence in various algae species and their many biological activities. It is observed that the beneficial effects of essential fatty acids on many diseases are related to their anti-inflammatory and antioxidant effects. Therefore, the fatty acid composition of algae, which must be included in the food chain, should be known. This will allow the use of algae for more appropriate purposes. In this context, conducting advanced multidisciplinary studies to elucidate the important biological effects of essential fatty acids in algae and their mechanisms is of great importance for the future.

REFERENCES

Ahmed, H.K., Heneidak, S., Rasmey, A.H.M., Shoubaky, G.A.S. 2023. Fatty acids composition and profiling of nine abundant marine Macroalgae, Egypt. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 24(02): 99-109.

Aktar, S., Cebe, G.E. 2010. General specifications, using areas of algae and their importance on pharmacy. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 39(3): 237-264.

Alçay, A.Ü., Bostan, K., Dinçel, E., Varlık, C. 2017. Algae as a food source for humans. *Aydın Gastronomy*, 1(1): 47-59.

Bayizit, A.A., Yılsay, T.Ö., Yılmaz, L. 2001. Nutraceutical properties of algae. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(1): 265-272.

Breuer, G., Evers, W.A.C., Vree, J.H., Kleinegris, D.M.M., Martens, D.E., Wijffels, R.H., Lamers, P.P. 2013. Analysis of fatty acid content and composition in microalgae. *Journal of Visualized Experiments*, 1: 1-9.

Chen, G.Q., Jiang, Y., Chen, F. 2007. Fatty acid and lipid class composition of the eicosapentaenoic acid-producing microalga, *Nitzschia laevis*. *Food Chemistry*, 104: 1580-1585.

Çakmakçı, S., Kahyaoğlu, D.T. 2012. An overview of the effects of fatty acids on health and nutrition. *Academic Food Journal*, 10(1): 103-113.

Çelebi, Ş. Kaya, H., Kaya, A. 2017. Effects of omega-3 fatty acids on human health. *Alınteri Journal of Agricultural Sciences*, 32(2): 105-112.

Durmaz, Y., Işık, O., Bandarra, N.M., Cirik, S., Turan, G., Gökpınar, Ş. 2002. *Porphyridium cruentum* (Rhodophyceae) yağ asitleri kompozisyonuna kurutma yöntemlerinin etkisi. *Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(1-2): 189-195.

Durucan, F., Turna, İ.İ. 2014. The seaweeds for economic purosun of Antalya Province (Lara-Kalkan) West Coastwise. *SDU Journal of Science*, 9(2): 1-11.

Eryalçın, K.M. 2011. Effect of microalgae cultured in different conditions on fatty acid composition of gilthead sea bream (*Sparus aurata* L., 1758) postlarvae. Istanbul University, Institute of Science, Department of Aquaculture, Doctoral Thesis, pp. 129.

Öztürk, M.O. 2014. Essential fatty acid effects on human metabolism and nutrition. *Kocatepe Veterinary Journal*, 7(2): 37-40.

Kalaycıoğlu, L., Serpek, B., Nizamlıoğlu, M., Başpınar, N., Tiftik, A.M. 2006. Biochemistry (3rd Edition). Nobel Publishing Distribution Limited Company, Publication No: 153: 176-181.

Karaca E, Aytaç S. 2007. The factors affecting on fatty acid composition of oil crops. *Ondokuz Mayıs University Journal of Faculty of Agriculture*, 22(1): 123-131.

Konukoglu, D. 2008. Properties, effects of omega-3 and omega-6 fatty acids and their relationship with cardiovascular diseases. *Turkish Journal of Family Physicians*, 12(3): 121-129.

Liang, Y, Sarkany, N., Cui, Y. 2009. Biomass and lipid productivities of *Chlorella vulgaris* under autotrophic, heterotrophic and mixotrophic conditions. *Biotechnological Letters*, 31: 1043-1049.

Liu, C.P., Lin, L.P. 2005. Morphology and eicosapentaenoic acid production by Monodus subterraneus UTEX 151. *Micron*, 36: 545-550.

Mendes, A., Guerra, P., Madeira, V., Ruano, F., Da Silva, T.L., Reis, A. 2007. Study of docosahexaenoic acid production by the heterotrophic microalga *Crypthecodinium cohnii* CCMP 316 using carob pulp as a promising carbon source. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23: 1209-1215.

Park, H., Jung, D., Lee, J., Kim, P., Cho, Y., Jung, I., Kim, H., Lim, S.M., Lee, C.G. 2018. Improvement of biomass and fatty acid productivity in ocean cultivation of *Tetraselmis sp*. using hypersaline medium. *Journal of Applied Phycology*, 30(5): 2725-2735.

Rocha, C.P., Pacheco, D., Cotas, J., Marques, J.C., Pereira, L., Gonçalves, A.M.M. 2021. Seaweeds as valuable sources of essential fatty acids for human nutrition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4968): 1-17.

Salar, B., Uz, A.K. 2021. Omega fatty acids: Biological effects and herbal sources. *Hacettepe University Journal of the Faculty of Pharmacy*, 41(3): 196-211.

Sasa, A., Şentürk, F., Üstündağ, Y., Erem, F. 2020. Use of algae as foods or food ingredients and their effects on health. *International Journal of Engineering, Design and Technology*, 2(2): 97-110.

Şahin, O.I. 2010. Determination of fatty acid profiles of some microalgae. Uludag University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Food Engineering, MSc Thesis, pp. 48.

RADIAL GROWTH VARIABILITY AND CLIMATE RESPONSE OF TWO *PINUS HALEPENSIS* AFFORESTATIONS FROM CENTRAL ALBANIA

Arben Q. Alla[1], Edmond Pasho[2]

[1]Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, *benialla@gmail.com,* https://orcid.org/0000-0002-6937-2940
[2]Agricultural University of Tirana, Faculty of Forestry Sciences, *mondipasho@gmail.com,* https://orcid.org/0000-0001-5699-4858

Abstract
This study evaluates the radial growth dynamics of *Pinus halepensis* plantations at two sites with contrasting topographical features in central Albania, and the response to climatic variables and site-specific conditions. The variability of radial growth components (EW – earlywood, LW – latewood, TRW – tree-ring width) was quantified by means of dendrochronological methods, whereas climate data consisted of mean monthly temperature and total monthly precipitation. Pearson correlation analyses were performed to explore correlations between monthly temperature and precipitation data and the residual growth series over the common period 1995–2018. Results demonstrated a dominant contribution of EW to annual growth and substantial interannual variability in both EW and TRW, particularly at the site S2. Radial growth was generally higher at S2 but both sites exhibited declining growth trends in recent decades. Climate–growth relationships revealed distinct site-specific responses. At S1, growth variables were significantly influenced by spring precipitation and negatively affected by early summer temperatures. Conversely, S2 trees showed stronger negative responses to summer temperature and a muted response to precipitation. These findings underscore the importance of local site conditions in modulating tree growth responses to climate and highlight the need for site-specific forest management strategies in Mediterranean environments. Therefore, this study contributes to understanding growth resilience and vulnerability of *P. halepensis* under projected climate change scenarios.
Keywords: *Pinus halepensis*, radial growth, climate, site orientation.

1. INTRODUCTION

Forests, which cover approximately one-third of the earth's terrestrial surface, are integral to global biodiversity, resource provision, and climate regulation. Consequently, the expansion of forested areas, particularly in degraded or arid regions, has become a global priority. Among various species suited to such conditions, *Pinus halepensis* holds significant ecological and economic importance across the Mediterranean basin, playing a crucial role in efforts to mitigate land degradation and combat climate change (Omary, 2011). Moreover, this species is notable for its resilience, adaptability, and capacity to thrive in nutrient-poor soils with limited rainfall (Gazol et al., 2022). Native to the Mediterranean region, *P. halepensis* can grow from sea level up to altitudes of 1700 meters, thriving in a variety of climates, with annual rainfall ranging from 350 to 700 mm and moderate winter temperatures (Alsanousi et al., 2025). This adaptability makes it an ideal candidate for reforestation projects, particularly in semi-arid regions where it aids in combating desertification, mitigating soil erosion, and restoring degraded landscapes (Quezel, 1986).

Despite its reputation for rapid growth, the growth rate of *P. halepensis* is influenced by various factors, including soil quality, climatic conditions, and site management (Gazol et al., 2022; Jeddi & Chaieb, 2010). In nutrient-deficient soils or areas subject to severe summer

drought, growth rates of *P. halepensis* tend to be slower (Jeddi & Chaieb, 2010). In *P. halepensis*, seasonal climatic variability, particularly precipitation, critically influences xylem development, with humid, mild winters and autumns enhancing radial growth, and earlywood formation primarily determined by previous winter conditions (Pasho et al., 2011; Royo-Navascues et al., 2021). *P. halepensis* has evolved several mechanisms to cope with water scarcity, such as deep root systems and physiological adaptations that reduce water loss (Baquedano et al., 2008; Royo-Navascues et al., 2021). However, climate change characterized by rising temperatures and prolonged droughts poses significant challenges, exacerbating growth variability even within relatively small geographic areas (Delgado-Artés et al., 2022). This underscores the importance of understanding local microclimates and soil properties for successful plantation management. Such studies reveal that the growth of *P. halepensis* is influenced by site-specific factors, with precipitation and temperature having varying effects depending on the local environment (Gazol et al., 2022; Prislan et al., 2016). This information is critical for adaptive forest management, as it enables the identification of optimal planting sites and the development of strategies to enhance the long-term productivity and resilience of *P. halepensis* plantations, particularly in the context of increasing climate uncertainty.

In Albania, *P. halepensis* is a dominant species within the Lauretum vegetation zone, particularly in areas such as Krujë, Elbasan, and Divjakë. Since the 1960s, this species has been extensively utilized in afforestation programs aimed at enhancing landscape stability, controlling soil erosion, and rehabilitating fire-damaged and ecologically degraded sites. The objectives of the research were to: (1) assess the variability in radial growth parameters (EW – earlywood, LW – latewood, and TRW – tree-ring width) of *P. halepensis* trees across two sites characterized by differing topographical features, and (2) analyse the relationships between key climatic variables, namely temperature and precipitation, and radial growth metrics in order to evaluate the species' sensitivity and adaptive response to climate variability.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study area

Study sites (site 1 and 2, hereafter S1 and S2) are located in opposite hillsides of Shkumbini Valley, in Librazhd municipality. Sites show some differences in terms of topographic factors and co-occurring vegetation of *P. halepensis* (Table 1).

Table 1: Study sites characteristics

Site	Location	Elevation (m)	Slope (%)	Aspect	Soil type	Main coexisting species
S1	41°10'46"N 20°15'41"E	355	59	SE	Brown	*Buxus sempervirens, Juniperus oxycedrus*
S2	41°10'29"N 20°15'57"E	230	14	NW	Brown	*Pinus pinaster, Fraxinus angustifolia, Buxus sempervirens, Juniperus oxycedrus, Rubus ulmifolius, Ruscus aculeatus*

S1 is located on southeast-facing slope, with higher elevation above sea level and steeper gradient compared with S2 located on northwest-facing slope. The soil type is brown at both sites, whereas co-occurring vegetation is more diverse at S2. The climate is Mediterranean and pre-mountainous with dry summers and cold winters (IHM, 1975), with 10.6 ºC mean annual temperature and 972 mm total annual precipitation. Climatic data were obtained from the global Climatic Research Unit (CRU) TS3.24.01 dataset (http://climexp.knmi.nl/), considering the

0.5º-resolution grid (latitude = 41.0–41.5 N, longitude = 20.0–20.5 E) and consisting of monthly mean temperature and total precipitation for the period 1995-2018 (Harris et al., 2020).

2.2. Field sampling and radial growth data collection

In spring 2019 one circular sample plot of 500 m^2 was defined at each site. Within each sample plot were recorded: location, elevation, slope, aspect, soil type and coexisting species. Afterward, two radial growth samples were extracted at breast height using a Pressler increment borer to determine the variability of seasonal (EW – earlywood, LW – latewood) and annual (TRW – tree-ring width) growth of each living tree within the plot. All samples were glued to wooden supports and sanded using progressively finer sandepaper until the annual tree rings were fully visible, and afterwards were visually cross-dated to determine the year in which the tree-rings were formed. Subsequently, earlywood width, latewood width and tree-ring width were measured using a LINTAB measuring system (Rinntech, Germany) and the TSAP software to an accuracy of 0.001 mm. The quality of visual cross-dating was validated with the COFECHA program (Holmes, 1983). Long-term trends in radial growth variables (EW, LW, TRW) were removed by detrending and standardising each cross-dated raw series, employing either negative linear or exponential curve fitting (Cook & Kairiukstis, 1990; Fritts, 1976). The indexed, pre-whitened residual series for all trees within each site were subsequently averaged using a biweight robust mean, producing site-level residual chronologies (S1 and S2) for EW, LW, and TRW. These procedures were conducted using the ARSTAN software package (Cook & Krusic, 2005). Dendrochronological statistics, presented in Table 2, were employed to assess the quality of the site chronologies (Briffa & Jones, 1990). The common period from 1995 to 2018 was selected for further analysis, as all residual chronologies exhibited expressed population signal (EPS) values exceeding the 0.85 threshold, indicating a high degree of replication in the mean growth series (Wigley et al., 1984).

Table 2: Statistics of radial growth chronologies (EW – earlywood, LW – latewood and TRW – tree-ring width).

Site	Variables	Trees (radii)	Period	MW (mm)	AC1	MSx	Rbar	EPS
S1	EW	54 (107)	1982 – 2018	1.49	0.84	0.26	0.36	0.98
	LW	54 (107)	1982 – 2018	0.78	0.38	0.47	0.55	0.99
	TRW	54 (107)	1982 – 2018	2.27	0.78	0.27	0.59	0.99
S2	EW	37 (73)	1989 – 2018	2.08	0.75	0.35	0.40	0.98
	LW	37 (73)	1989 – 2018	1.11	0.55	0.55	0.60	0.99
	TRW	37 (73)	1989 – 2018	3.19	0.75	0.36	0.50	0.99

Statistics: MW – mean tree-ring width; AC1 – first-order autocorrelation coefficient; MSx – mean sensitivity; Rbar – mean correlation between trees; EPS – the expressed population signal.

2.3. Statistical analyses

The relationships between radial growth variables (EW, LW and TRW) residual mean series and monthly climate data (total precipitation and mean temperature) of the year of ring formation (from January to December) were calculated based on Pearson correlation coefficients at the two study sites (S1, S2).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Statistics of radial growth variables

Radial growth characteristics, including EW, LW, and TRW, exhibited site-specific variation, with significantly greater mean widths observed at site S2 (Table 2), despite the older age of trees at site S1 (36 years compared to 29 years at S2). The first-order autocorrelation

coefficient (AC1) also varied between sites: EW width and TRW exhibited higher AC1 values at S1, whereas LW width demonstrated greater autocorrelation at S2. The mean inter-series correlation (Rbt) was generally higher at S2, with the exception of TRW. In contrast, mean sensitivity (MSx), which reflects year-to-year variability in growth, was consistently higher at S1 across all radial growth parameters. The expressed population signal (EPS) showed consistent values between sites for all growth variables, with relatively higher values observed for TRW and LW and lower values for EW.

3.2. Interannual variability in growth components

At both sites, earlywood (EW) consistently constitutes the largest proportion of annual tree-ring width (TRW), exhibiting markedly higher values and interannual variability compared to latewood (LW) (Figures 1 and 2). This pattern reflects the ecophysiological role of EW as the primary contributor to hydraulic conductivity and rapid radial expansion under favourable early-season climatic conditions (Eilmann et al., 2009; Pompa-García et al., 2021). In contrast, LW formation is more limited and temporally constrained, likely influenced by declining soil moisture and increasing temperature stress during the latter part of the growing season (Carteni et al., 2018). In site S1, EW and TRW exhibit a pronounced growth peak during the late 1980s to early 1990s, followed by a sustained reduction and apparent stabilisation in the subsequent decades. LW, while consistently subordinate in magnitude, remains relatively stable throughout the chronology, with minimal year-to-year fluctuation. This suggests that growth at S1 is predominantly determined by early-season environmental conditions, with late-season processes playing a limited role in overall carbon allocation to radial growth (Song et al., 2022). Site S2 exhibits a similar hierarchical structure in wood formation. However, all three components (particularly EW and TRW) attain higher peak values than those observed at S1, most notably during the 1990s. Furthermore, LW in S2 displays slightly greater interannual variability and contributes more substantially to TRW than in S1, indicating a potentially longer or more productive late-season growth period (de Luis et al., 2009). Comparative analysis of the two sites reveals that S2 is consistently characterised by higher mean values in all growth variables, suggesting more favourable site conditions, such as superior edaphic properties, reduced competition, site microclimate or enhanced moisture availability (Oberhuber et al., 2014). The divergence in EW and TRW between the sites is most pronounced during the high-growth interval (1985–1995), which may reflect differential site responses to climatic conditions or legacy effects of past disturbances. LW formation, while representing the smallest fraction of annual growth at both sites, contributes relatively more to TRW at S2. This implies that trees at S2 not only benefit from improved early-season conditions but may also experience a longer or less constrained late-season growth window, potentially due to site-specific differences in soil water retention or temperature buffering capacity. Collectively, these patterns underscore the dominant role of EW in determining interannual variability in radial growth, while also highlighting subtle but ecologically meaningful differences in the contribution of LW between sites.

Marked differences were observed between the two sites in both the magnitude and trends of radial growth (Figure 2). In general, S2 exhibited higher values across all three growth components (EW, LW, and TRW) than S1, particularly during the earlier part of the study period. This suggests more favourable growing conditions at S2, likely related to environmental or edaphic factors. Over time, however, a declining trend is apparent at both sites since the early 1990s, likely reflecting the cumulative effects of increasing aridity and warming in the Mediterranean Basin (Lionello et al., 2006; Vicente-Serrano et al., 2010). The more pronounced decline at S2, despite its initially higher values, suggests a stronger sensitivity to long-term climatic stressors. The disparity between sites diminishes in the most recent years of the record, indicating a convergence in growth patterns.

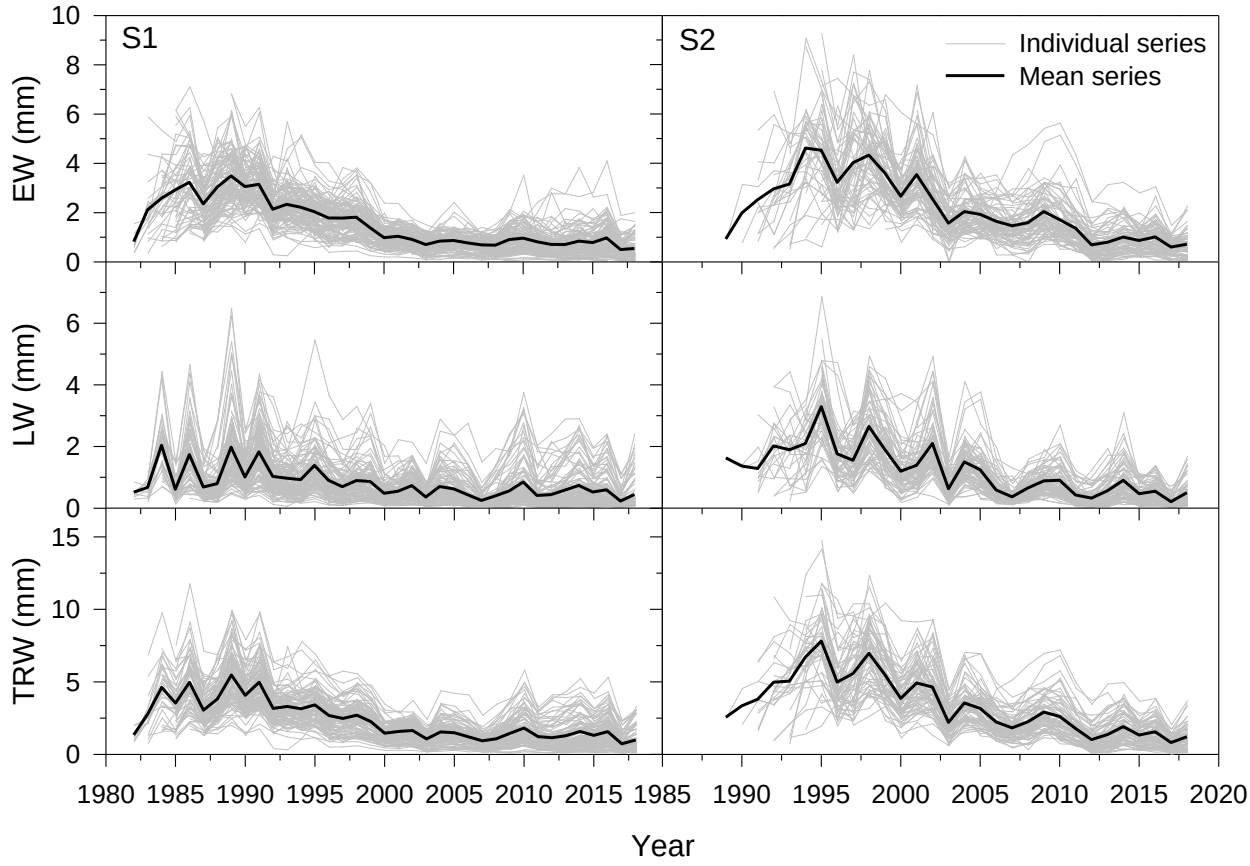


Figure 1: Radial growth raw chronologies (EW – earlywood, LW – latewood and TRW – tree-ring width) of both studied sites (S1, S2). The individual series of radial growth variables are shown with grey and the means are shown with black lines, respectively.

The trends in EW and LW broadly reflect those of TRW, suggesting that both early and latewood formation contribute to the inter-site differences. Nevertheless, the relative contribution of each component may differ between sites and through time. The synchronised decline in growth observed at both locations in the last two decades may reflect the increasing influence of regional climate constraints, such as higher temperatures and reduced water availability. Overall, the comparison reveals that while S2 maintained higher radial growth for most of the study period, long-term environmental stressors appear to be driving a convergence in growth dynamics across both sites.

3.3. Climate–growth relationships

Radial growth of *P. halepensis* exhibited distinct site-specific responses to climatic variables. An earlier and more pronounced response to climatic drivers was evident at S1 compared to S2, (Figures 3 and 4). This finding indicates differential resource availability and climatic stress exposure, which are common in heterogeneous Mediterranean environments (Alsanousi et al., 2025; Sarris et al., 2007). Precipitation had a significant positive influence on radial growth at both sites, though the timing of its impact varied. At S1, EW growth was positively correlated with precipitation in March, May, and June, whereas no significant associations were observed at S2. These results suggest that water availability is a key positive driver during the EW growth at S1 whereas the lack of significant correlations at S2 may reflect more buffered hydrological conditions or a higher reliance on stored soil moisture (de Luis et al., 2007, 2009). LW growth at S1 was enhanced by precipitation in March and September, while at S2, it responded primarily to July and December precipitation. This evidence infers

distinct climatic windows of sensitivity that may reflect phenological differences in wood formation or site-specific soil water dynamics (de Luis et al., 2007; Pasho et al., 2011). Total TRW at S1 showed combined influences, with positive associations to precipitation in March, May, June, and September, in contrast to S2, where August and December precipitation were the primary drivers. Temperature effects on tree radial growth differed seasonally.

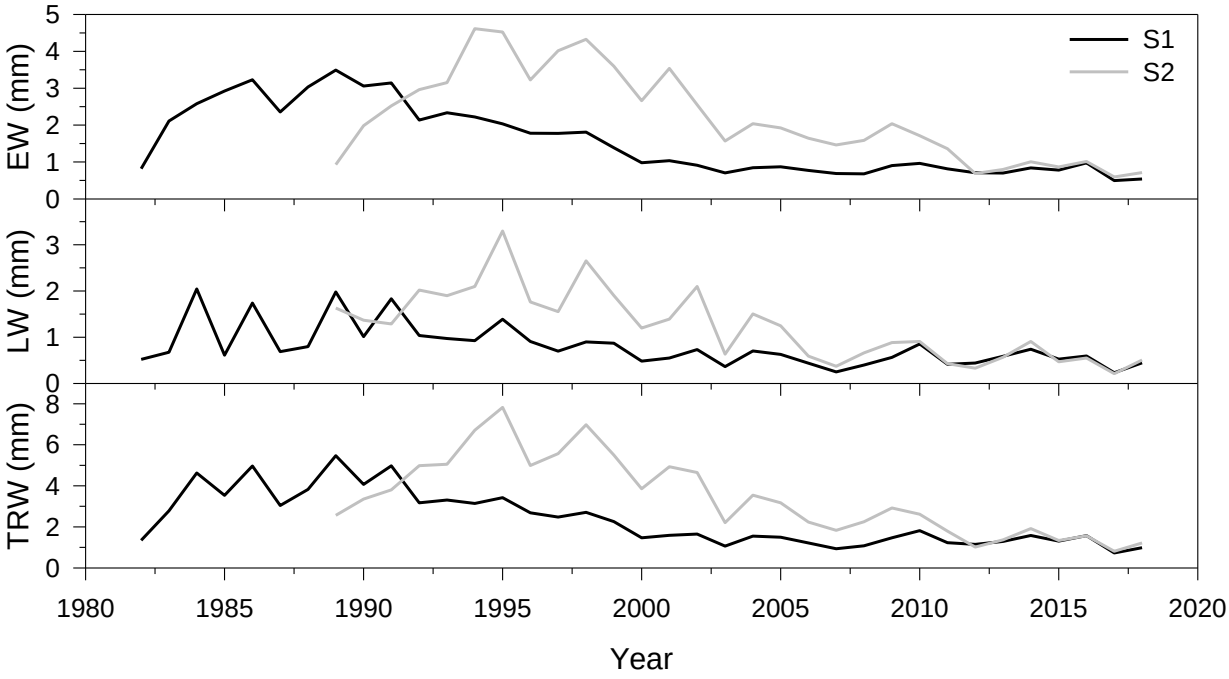


Figure 2: Mean radial growth raw chronologies (EW – earlywood, LW – latewood and TRW – tree-ring width) of both studied sites (S1, S2).

In general, positive correlations were found during the pre-growth period (January and February), while negative associations were observed during the active growing season (May to August). Positive relationship with January and February temperature indicate that warmer winters may promote early resumption of cambial activity but high May to August temperatures appear detrimental to growth as they exacerbated drought conditions and inhibited growth as found across Mediterranean pine species (Camarero et al., 2010; de Luis et al., 2011). At S1, EW growth was positively influenced by January and February temperatures, and negatively by those in May and June. At S2, EW growth was negatively affected by high summer temperatures (June–August). Similar patterns were noted for LW and TRW, with significant positive effects of February temperatures and negative effects in May and June at S1, and consistently negative summer temperature effects at S2. These results highlight the greater sensitivity of S2 trees to summer drought stress, suggesting a critical dependence on late-season water availability. The differential sensitivity to temperature between sites further supports the influence of local site conditions such as soil type or exposure on growth resilience under thermal stress. Overall, these results are consistent with findings from previous dendroecological studies in the Mediterranean region, which emphasize the importance of seasonal climate partitioning and local environmental context in shaping tree growth responses (de Luis et al., 2011; Sarris et al., 2011).

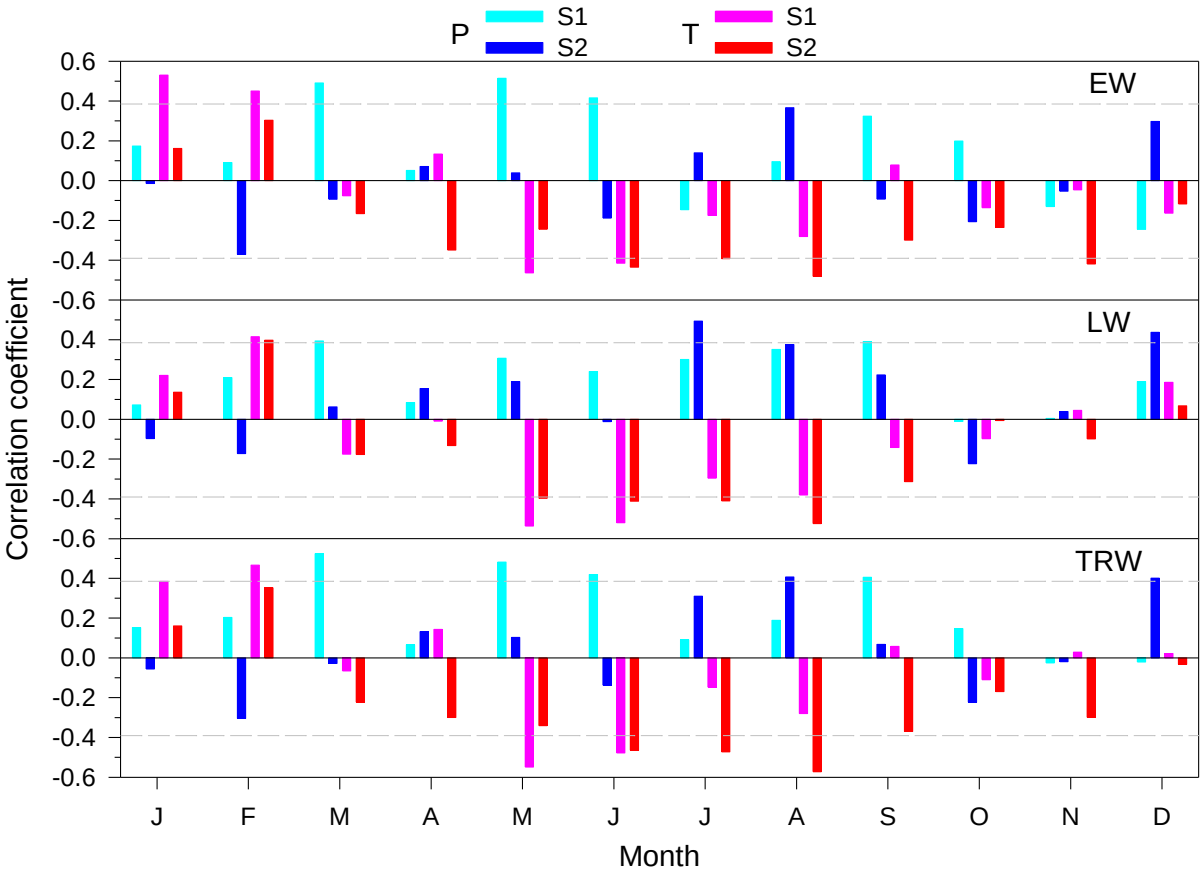


Figure 3: Correlation coefficients calculated between radial growth (EW – earlywood, LW – latewood and TRW – tree-ring width) residual chronologies and monthly climatic data (P – total precipitation, S1 - cyan bars and S2 - blue bars; T – mean temperature, S1 – pink bars and S2 - red bars, respectively) over the period 1995–2018. Pearson correlations were calculated considering monthly climatic data of the year of tree-ring formation at both sites. The significance thresholds are shown with horizontal grey dashed lines ($P < 0.05$).

At S1, radial growth is negatively affected by May temperature, with all three components (EW, LW, and TRW) showing reduced values during warmer springs (Figure 4). This suggests that high temperatures during the early growing season may induce physiological stress by increasing evapotranspiration and reducing soil moisture availability, thereby limiting cambial activity and cell expansion. In contrast, May precipitation exerted a positive influence on growth, particularly enhancing EW growth. This relationship highlights the importance of spring moisture availability for the initiation and rate of EW growth. The observed patterns suggest that favourable moisture conditions during May can partly buffer the adverse effects of spring warming, but high temperatures generally act as a dominant limiting factor at this site. At S2, August temperature exerted a similarly negative effect on radial growth. Warmer late summer conditions were associated with reductions in LW and TRW, suggesting constrains in cell wall thickening and carbon allocation to LW growth. However, August precipitation exhibited a positive association, though statistically significant only for TRW. This infers that while late-season rainfall can support overall ring width development, its effect on LW formation is less consistent or potentially masked by overriding thermal stress. The stronger association with TRW implies that water availability in August may contribute to prolonging the growing season or mitigating the impact of drought on total growth. These findings align with the known ecophysiological strategies of *P. halepensis*, a drought-avoidant species that

exhibits flexible phenology and growth allocation to cope with intra- and interannual variability in water availability (Pasho et al., 2011; Sarris et al., 2007).

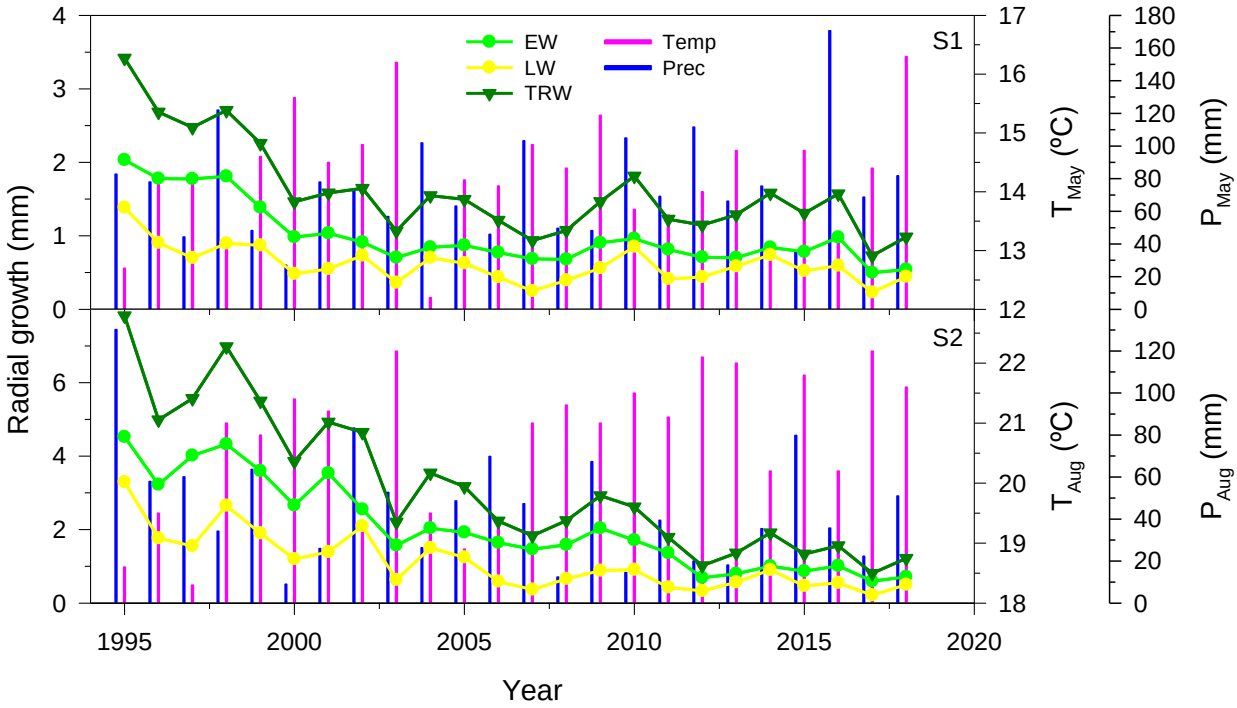


Figure 4: Most significant relationships of radial growth (EW – earlywood, LW – latewood and TRW – tree-ring width) chronologies with monthly total precipitation and mean temperature at S1 and S2, respectively.

The strong seasonality of climatic influences also supports the growing evidence that Mediterranean conifers exhibit dual climate sensitivity depending on local site conditions and seasonal resource availability (Linares & Tíscar, 2010; Sabaté et al., 2002). These site-specific differences underscore the role of local climate regimes in modulating phenological and anatomical responses in *P. halepensis* (Campelo et al., 2007; Touchan et al., 2012).

4. CONCLUSIONS

This study examined radial growth dynamics of *Pinus halepensis* at two contrasting sites in central Albania, revealing significant interannual variability, with earlywood dominating total ring width. Site-specific differences in growth patterns emphasized the influence of local edaphic and microclimatic factors. Climate–growth relationships showed site-specific sensitivities: spring precipitation and early summer temperatures affected growth at S1, while at S2 growth responded more to late-season temperature. Although *P. halepensis* shows adaptive plasticity, future climate scenarios may increase stress, especially at marginal sites. These findings stress the need for site-adapted forest management, incorporating fine-scale climate–growth relationships, to enhance the resilience of *P. halepensis* plantations in Mediterranean environments.

5. REFERENCES

Alsanousi, A. A., Abdul-Hamid, H., Mohamed, J., & Masoud, M. (2025). *Pinus halepensis* Mill. In the Mediterranean region: A review of ecological significance, growth patterns, and soil interactions. *iForest - Biogeosciences and Forestry, 18*(1), 30. https://doi.org/10.3832/ifor4566-017

Baquedano, F. J., Valladares, F., & Castillo, F. J. (2008). Phenotypic plasticity blurs ecotypic divergence in the response of *Quercus coccifera* and *Pinus halepensis* to water stress. *European Journal of Forest Research*, *127*(6), 495–506. https://doi.org/10.1007/s10342-008-0232-8

Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1990). Basic chronology statistics and assessment. In E. R. Cook & L. A. Kairiukstis (Eds.), *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences* (pp. 137–152). Kluwer Academic Publishers.

Camarero, J. J., Olano, J. M., & Parras, A. (2010). Plastic bimodal xylogenesis in conifers from continental Mediterranean climates. *New Phytologist*, *185*(2), 471–480. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.03073.x

Campelo, F., Nabais, C., Freitas, H., & Gutiérrez, E. (2007). Climatic significance of tree-ring width and intra-annual density fluctuations in *Pinus pinea* from a dry Mediterranean area in Portugal. *Annals of Forest Science*, *64*(2), 229–238. https://doi.org/10.1051/forest:2006107

Cartenì, F., Deslauriers, A., Rossi, S., Morin, H., De Micco, V., Mazzoleni, S., & Giannino, F. (2018). The physiological mechanisms behind the earlywood-to-latewood transition: A process-based modeling approach. *Frontiers in Plant Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01053

Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). *Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences* (1st ed.). Kluwer Academic Publishers.

Cook, E. R., & Krusic, P. (2005). *ARSTAN: A tree-ring standardization program based on detrending and autoregressive time series modeling, with interactive graphics. Tree-Ring Laboratory, Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, Palisades, New York, USA.* [Computer software].

de Luis, M., Gričar, J., Čufar, K., & Raventós, R. (2007). Seasonal dynamics of wood formation in *Pinus halepensis* from dry and semi-arid ecosystems in Spain. *Iawa Journal*, *28*(4), 389–404.

de Luis, M., Novak, K., Čufar, K., & Raventós, J. (2009). Size mediated climate–growth relationships in *Pinus halepensis* and *Pinus pinea*. *Trees*, *23*(5), 1065–1073. https://doi.org/10.1007/s00468-009-0349-5

de Luis, M., Novak, K., Raventós, J., Gričar, J., Prislan, P., & Čufar, K. (2011). Climate factors promoting intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. *Dendrochronologia*, *29*(3), 163–169. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.01.005

Delgado-Artés, R., Garófano-Gómez, V., Oliver-Villanueva, J. V., & Rojas-Briales, E. (2022). Land use/cover change analysis in the Mediterranean region: A regional case study of forest evolution in Castelló (Spain) over 50 years. *Land Use Policy*, *114*, 105967. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105967

Eilmann, B., Zweifel, R., Buchmann, N., Fonti, P., & Rigling, A. (2009). Drought-induced adaptation of the xylem in Scots pine and pubescent oak. *Tree Physiology*, *29*(8), 1011–1020. https://doi.org/10.1093/treephys/tpp035

Fritts, H. C. (1976). *Tree rings and climate*. Academic Press.

Gazol, A., Oliva, J., Valeriano, C., Colangelo, M., & Camarero, J. J. (2022). Mixed pine forests in a hotter and drier World: The great resilience to drought of Aleppo pine benefits it over other coexisting pine species. *Frontiers in Forests and Global Change*, *5*. https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.899425

Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, *7*(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3

Holmes, R. L. (1983). Computer-assisted quality control in tree ring dating and measurement. *Tree-Ring Bulletin*, *43*, 69–78.

IHM, (Instituti i Hidrometeorologjisë). (1975). *Klima e Shqipërisë.*

Jeddi, K., & Chaieb, M. (2010). Soil properties and plant community in different aged *Pinus halepensis* Mill. Plantations in arid Mediterranean areas: The case of southern Tunisia. *Land Degradation & Development*, *21*(1), 32–39. https://doi.org/10.1002/ldr.964

Linares, J. C., & Tíscar, P. A. (2010). Climate change impacts and vulnerability of the southern populations of *Pinus nigra* subsp. *Salzmannii*. *Tree Physiology*, *30*(7), 795–806. https://doi.org/10.1093/treephys/tpq052

Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., & Boscolo, R. (Eds.). (2006). *Mediterranean Climate Variability*. Elsevier. https://shop.elsevier.com/books/mediterranean-climate-variability/lionello/978-0-444-52170-5

Oberhuber, W., Gruber, A., Kofler, W., & Swidrak, I. (2014). Radial stem growth in response to microclimate and soil moisture in a drought-prone mixed coniferous forest at an inner Alpine site. *European Journal of Forest Research*, *133*(3), 467–479. https://doi.org/10.1007/s10342-013-0777-z

Omary, A. A. (2011). Effects of aspect and slope position on growth and nutritional status of planted Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) in a degraded land semi-arid areas of Jordan. *New Forests*, *42*(3), 285–300. https://doi.org/10.1007/s11056-011-9251-2

Pasho, E., Camarero, J. J., de Luis, M., & Vicente-Serrano, S. M. (2011). Spatial variability in large-scale and regional atmospheric drivers of *Pinus halepensis* growth in eastern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, *151*(8), 1106–1119. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.03.016

Pompa-García, M., Camarero, J. J., Colangelo, M., & González-Cásares, M. (2021). Inter and intra-annual links between climate, tree growth and NDVI: Improving the resolution of drought proxies in conifer forests. *International Journal of Biometeorology*, *65*(12), 2111–2121. https://doi.org/10.1007/s00484-021-02170-5

Prislan, P., Gričar, J., de Luis, M., Novak, K., Martinez del Castillo, E., Schmitt, U., Koch, G., Štrus, J., Mrak, P., Žnidarič, M. T., & Čufar, K. (2016). Annual cambial rhythm in *Pinus halepensis* and *Pinus sylvestris* as Indicator for climate adaptation. *Frontiers in Plant Science*, *7*. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01923

Quezel, P. (1986). Les pins du groupe "*Halepensis*". Ecologie, végétation, écophysiologie. *Options Méditerranéennes*, 11–23.

Royo-Navascues, M., Martinez del Castillo, E., Serrano-Notivoli, R., Tejedor, E., Novak, K., Longares, L. A., Saz, M. A., & de Luis, M. (2021). When density matters: The spatial balance between early and latewood. *Forests*, *12*(7), Article 7. https://doi.org/10.3390/f12070818

Sabaté, S., Gracia, C. A., & Sánchez, A. (2002). Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. *Forest Ecology and Management*, *162*(1), 23–37. https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00048-8

Sarris, D., Christodoulakis, D., & Körner, C. (2007). Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean. *Global Change Biology*, *13*(6), 1187–1200. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2007.01348.x

Sarris, D., Christodoulakis, D., & Körner, C. (2011). Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Climatic Change*, *106*(2), 203–223. https://doi.org/10.1007/s10584-010-9901-y

Song, Y., Sterck, F., Sass-Klaassen, U., Li, C., & Poorter, L. (2022). Growth resilience of conifer species decreases with early, long-lasting and intense droughts but cannot be

explained by hydraulic traits. *Journal of Ecology*, *110*(9), 2088–2104. https://doi.org/10.1111/1365-2745.13931

Touchan, R., Shishov, V. V., Meko, D. M., Nouiri, I., & Grachev, A. (2012). Process based model sheds light on climate sensitivity of Mediterranean tree-ring width. *Biogeosciences*, *9*(3), 965–972. https://doi.org/10.5194/bg-9-965-2012

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, *23*(7), 1696–1718. https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1

Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (1984). On the average value of correlated time-series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, *23*(2), 201–213.

TÜRKİYE'DE KİŞİ BAŞINA TÜKETİLEN YUMURTA SAYISI İLE TOPLAM YUMURTA YEMİ ÜRETİMİ ARASINDAKİ İLİŞKİSİ

Dr. Selim MERT

Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2083-0450

E mail: selim.mert@ege.edu.tr

Özet

Türkiye'de yumurtanın ekonomik erişilebilirliği, onu önemli bir protein kaynağı yapmaktadır. Tüketici tercihleri ise yumurta talebini şekillendiren temel bir unsur olarak bilinmektedir. Yumurta seçiminde fiyat, kalite, sağlık bilinci ve damak zevki ön planda gelirken, bu yönde sürdürülebilirlik şekillenmekte ve son yıllarda organik yumurta talebi de artış eğiliminde gelişmektedir. Diğer yandan, ithal yem hammaddelerine bağımlılık ve çevresel faktörler üretim maliyetlerini etkileyen en önemli unsurlar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda çalışmada, Türkiye'de kişi başı yumurta tüketimi ve karma yem üretimiyle ilgili 28 yıllık veriler analiz ederek, bu iki değişken arasındaki ilişkileri incelemek ve yumurta tüketimini etkileyen faktörler hakkında bilgi vermek amaçlamaktadır. Çalışma sonuçlarına göre, Türkiye'de kişi bana yumurta tüketiminin 114 adetten 242 adede, toplam yumurta yemi üretiminin ise 801.887 tondan 3.764.242 tona yükseldiği görülmektedir. Türkiye'de toplam yumurta yemi paritesinin kişi başına tüketilen yumurta sayısına etkisi yüksek düzeyde ve pozitif yönde açıklanmaktadır (R^2 0,83205). Bulgular, beslenme politikaların, çevre dostu üretim tekniklerinin ve teknolojik yatırımların yumurta sektörünün sürdürülebilir büyümesi için kritik olduğunu göstermektedir. Gelecekte, bölgesel verimlilik ve yenilikçi pazarlama stratejileri sektöre katkı sağlayabilir.

Anahtar kelimeler: yumurta, kişi başına tüketim, yumurta yemi

---

The Relationship between the Number of Eggs Consumed Per Capita and Total Laying Feed Production in Turkey

Abstract

The economic accessibility of eggs in Turkey makes it an important source of protein. Consumer preferences are known as a fundamental factor shaping the demand for eggs. While price, quality, health awareness and taste are at the forefront in egg selection, sustainability is shaped in this direction and the demand for organic eggs has been developing in an increasing trend in recent years. On the other hand, dependence on imported feed raw materials and environmental factors are the most important factors affecting production costs. In this context, this study aims to analyze 28 years of data on per capita egg consumption and compound feed production in Turkey, to examine the relationships between these two variables and to provide information on the factors affecting egg consumption. According to the results of the study, per

capita egg consumption in Turkey increased from 114 to 242 eggs, while total laying feed production increased from 801,887 tons to 3,764,242 tons. The effect of total laying feed parity on the number of eggs consumed per capita in Turkey is highly and positively explained (R2 0.83205). The findings suggest that nutrition policies, environmentally friendly production techniques and technological investments are critical for the sustainable growth of the egg sector. In the future, regional productivity and innovative marketing strategies can contribute to the sector.

Key words: egg, per capita consumption, laying feed

Yumurta, dünya genelinde ve Türkiye'de en çok tüketilen protein kaynaklarından biridir ve ekonomik erişilebilirliği, besin değeri ve çok yönlü kullanımıyla öne çıkar. Yumurta, yüksek protein, B12 vitamini ve kolin içeriğiyle beslenmenin temel alanlarından biri olup, kardiyovasküler destekler ve bilimsel fonksiyonlar güçlendirir. Küresel ölçekte, kişi başı yumurta tüketimi 2018 yılında yıllık 161 adet olarak kaydedilmiş, Türkiye'de ise 1996-2024 yılları arasında bu rakam yaklaşık 114 adetten 242 adede yükselmiştir (YUM-BİR, 2020; World Egg Organisation, 2020). Yumurtanın ekonomik avantajı, düşük üretim maliyetlerinden kaynaklanır. Kanatlı hayvanların yüksek yem dönüşüm oranı ve modern kümes sistemlerinin verimliliği, yumurtayı sığır eti veya diğer protein kaynaklarına kıyasla daha uygun fiyatlı bir seçenek haline getirir. Türkiye'de, yumurta sektörünün ölçek ekonomisinden faydalanması ve devlet destekleri, yumurta fiyatlarını rekabetçi tutmaktadır (Karakuş, 2014; Özçelik, 2017). Tüketici tercihleri, yumurta talebini şekillendiren temel bir unsurdur. Türkiye'de tüketiciler, yumurta seçiminde fiyat, kalite, sağlık bilinci ve damak zevkini ön planda tutar. Son yıllarda organik ve yerel (çiftlik) yumurtalara olan talep artışı, tüketicilerin sürdürülebilirlik ve gıda güvenilirliğine verdiği önemi yansıtmaktadır (YUM-BİR, 2016; Özçelik, 2017). Yumurta, Türk mutfağında kahvaltıdan tatlılara kadar geniş bir kullanım alanına ve kültürel olarak köklü bir yere sahiptir. Sağlık bilinci yüksek tüketiciler, yumurtanın kolesterolle ilgili eski endişelerin azalmasıyla bağlantılı olarak daha sık tüketimi tercih etmektedir (Smith at. Al, 2023). Yumurta hem bireysel hem de ticari mutfaklarda vazgeçilmez bir gıda olma özelliğindedir. Yumurtanın çevresel sürdürülebilirlik açısından düşük karbon ayak izi, onu diğer hayvansal proteinlere karşı cazip kılar. Yumurta üretimi, sığır eti üretimine kıyasla birim protein başına yaklaşık 10 kat daha az sera gazı emisyonu üretir (FAO, 2020). Bu avantaj, karma yem üretimindeki teknolojik gelişmelerle desteklenmektedir. Yem katkı maddeleri, yem dönüşüm oranını iyileştirerek çevresel etkileri azaltır ve birim yemle daha fazla yumurta üretimine olanak tanır (Alltech, 2024). Bununla birlikte Türkiye'nin yem hammaddelerinde ithalata bağımlılığı, fiyat dalgalanmalarına yol açmakta ve yumurta üretim maliyetlerini etkilemektedir (Karakuş, 2014). Karma yem üretimi, yumurta üretiminin temel girdisi olduğundan, sektörün verimliliği ile doğrudan ilişkilidir. Yem fiyatları, yumurta fiyatlarını belirlemekte ve dolayısıyla tüketici talebini de etkilemektedir (Karakuş, 2014). Teknolojik yenilikler, örneğin probiyotik bazlı yem katkıları, yem verimliliğini artırarak maliyetleri düşürmektedir (Alltech, 2024). Türkiye'de karma yem sektörü, bölgesel üretim tesisleriyle güçlü bir altyapıya sahiptir, ancak ithal hammaddelere bağımlılık, uzun vadeli sürdürülebilirlik için bir zorluk teşkil etmektedir (Karakuş, 2014). Bu çalışma, 1996-2024 yılları arasındaki kişi başı yumurta tüketimi ve karma yem üretimi verilerini analiz ederek, bu iki değişken arasındaki ekonomik, tarımsal ve çevresel ilişkileri incelemeyi amaçlamaktadır. Tüketici tercihleri ve çevresel faktörler dikkate alınarak, sürdürülebilir hayvancılık politikaları için öneriler sunulacaktır (YUM-BİR, 2020; FAO, 2020).

Materyal ve Metod

Türkiye'de yumurta tüketimi ile ilgili, Türkiye İstatistik Kurumundan (TÜİK, 2025) 1996-2024 yılları arasında yumurta tavukçuluğu ile ilgili bildirilen veriler kullanılmıştır (Çizelge 1). Bu amaçla, ilişkilerin açıklanmasında en iyi uyum sağlaması bakımından kuadratik regresyon modeli tercih edilmiştir. İstatistiksel analizlerde IBM SPSS v25 programı kullanılmıştır.

Toplam yumurta yemi paritesinin, kişi başına tüketilen yumurta sayısına etkisini incelemek için bağımlı değişken olarak üretilen kişi başına tüketilen yumurta sayısı (Y) seçilmiş, bağımsız değişken olarak toplam yumurta yemi(X) değişkeni alınmıştır.

Model:

$Y= 125,63331 + 4,9419e\ X\ -1,865e\text{-}11(-6)\ X^2$

Çizelge 1. Türkiye'de 1996-2024 yılları arasında yumurta tavukçuluğu (TÜİK, Tarım Orman Bakanlığı, Yum-bir 2025)

Yıllar	Kişi Başına Tüketilen Yumurta Sayısı	Yumurta Civciv	Piliç Büyütme	Piliç Geliştirme	Kafes Tavuğu	Yumurta Yemi	Toplam Yumurta Yemi
1996	114	32670	61305	24388	561498	122026	801887
1997	113	37738	53180	36215	510944	158265	796342
1998	184	37699	58493	34266	603624	94614	828696
1999	148	30773	49557	19783	581701	100336	782150
2000	106	36049	51093	20042	535408	101991	744583
2001	116	23056	34257	11944	484152	70839	624248
2002	112	30950	41989	11814	411610	89834	586197
2003	130	26414	44662	13803	429451	93276	607606
2004	109	31834	46905	10668	411592	122510	623509
2005	115	24872	40531	14100	360771	96411	536685
2006	114	26143	34932	10704	316054	106339	494172
2007	149	39019	50668	17127	419362	148395	674571
2008	157	35794	42937	15271	437838	160819	692659
2009	164	41149	46316	16152	461701	174972	740290
2010	174	55562	60253	23951	502846	178288	820899
2011	188	67506	57202	18949	564910	245252	953819
2012	207	61856	65873	18399	638583	274022	1058733
2013	218	69219	65692	29974	805766	631714	1602364
2014	226	136456	99056	39807	1340217	865011	2480547
2015	218	143617	117571	74939	1957692	1123390	3417209
2016	229	184022	124094	78921	1337224	1233971	2958232
2017	241	215881	149631	99800	1719070	1185273	3369655
2018	242	173212	130886	91119	1859413	1346213	3600844
2019	242	166943	141238	76943	2080774	1362543	3828441
2020	239	141368	99757	69114	1688035	1718481	3716754
2021	228	150815	126421	77620	1984519	1322405	3661780

2022	232	122743	102801	59048	1951311	1265596	3501499
2023	242	147041	103360	81676	1849782	1343274	3525133
2024	242	152478	109318	88740	1957319	1456387	3764242

Yukarıdaki tablo farklı kaynaklardan edinilmiş veriler bir araya getirilerek elde edilmiştir. Bu kaynaklarYUM-BİR, Tarım Orman Bakanlığı ve TUİK'ten oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan toplam yumurta yemi paritesi, yumurtacı civcivler, yumurtacı piliçler büyütme, piliç geliştirme, kafes tavuğu ve yumurta yemi miktarlarının toplamından elde edilmiştir.

Sonuç ve tartışma

Çizelge 1'de farklı kaynaklardan elde edilmiş veriler kullanılmıştır (TÜİK, Tarım Orman Bakanlığı, Yum-bir 2025). Bu verilerde 1996-2024 yılları arasında kişi başına tüketilen yumurta sayısı, yumurtacı civcivler, yumurtacı piliçler büyütme, piliç geliştirme, kafes tavuğu ve yumurta yemi olarak üretim miktarları verilmiştir. Aynı tabloda yumurtacı hayvanların tüm tüketim miktarları da bulunmaktadır. Kafes tavuğu ve yumurta yemi arasındaki farka değinilecek olursa arasında protein değeri arasında farklılığın olduğunu ama aynı hizmet için üretildiğini sözlü olarak Tarım ve Orman Bakanlığı yetkilileri bildirmiştir. 1996-2024 yılları arasında Türkiye'de yumurta sektörü, kişi başına yumurta tüketimi ve üretim göstergeleri açısından önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Kişi başına yumurta tüketimi 1996'da 114 adet iken, 2018-2024 döneminde 242 adede ulaşarak yaklaşık %112'lik bir artış göstermiştir. Bu, yumurtanın beslenme alışkanlıklarında daha fazla yer edinmesini ve talebin istikrarlı büyümesini yansıtmaktadır. En yüksek tüketim 2017'de (241 adet) ve 2018-2024 yıllarında (242 adet) gözlenmiştir.

Yumurta civcivi üretimi 1996'da 32.670 iken, 2017'de 215.881'e ulaşarak dramatik bir artış kaydetmiş, ancak 2024'te 152.478'e gerilemiştir. Piliç büyütme ve geliştirme sayıları da benzer şekilde dalgalanmış; 2015'te piliç büyütme 117.571, geliştirme ise 2017'de 99.800 ile zirve yapmıştır. Kafes tavuğu sayısı ise 1996'da 561.498 iken, 2019'da 2.080.774 ile en yüksek seviyesine ulaşmış, 2024'te 1.957.319'a hafif bir düşüş göstermiştir. Bu, modern üretim tekniklerinin yaygınlaşması ve büyük ölçekli tesislerin artmasıyla açıklanabilir.

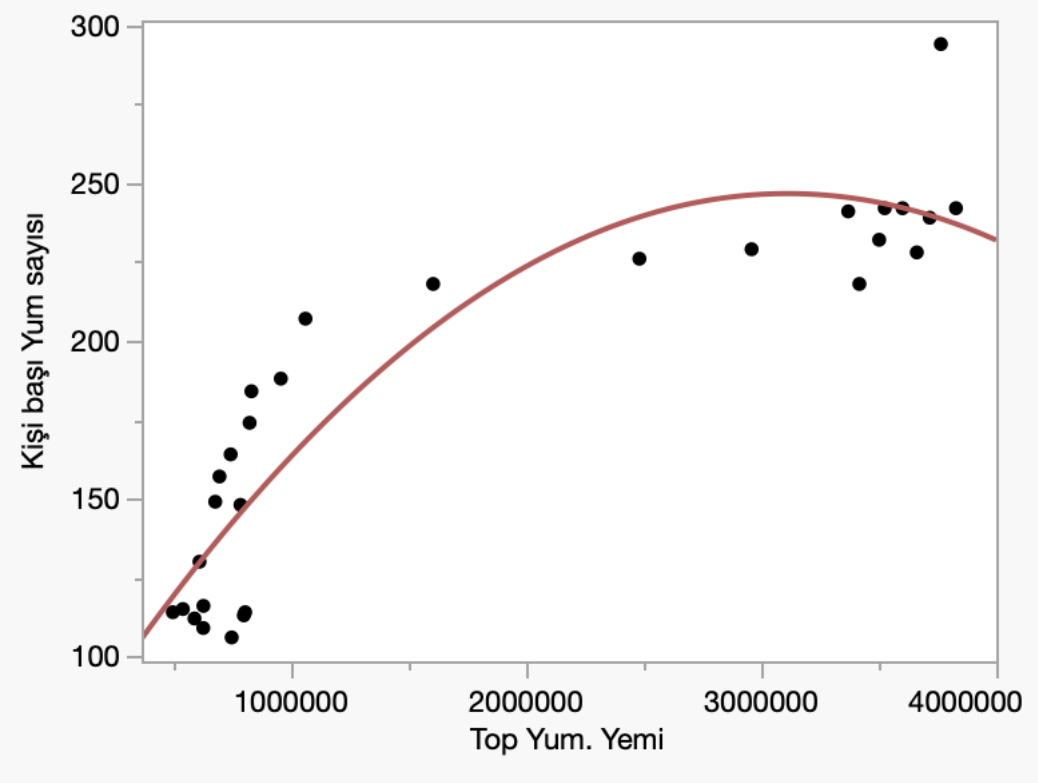
Yumurta yemi tüketimi 1996'da 122.026 ton iken, 2024'te 1.456.387 tona yükselmiş, toplam yumurta yemi ise aynı dönemde 801.887 tondan 3.764.242 tona ulaşmıştır. Özellikle 2013-2019 arasında yem tüketiminde sıçramalar yaşanmış, bu da üretimin yoğunlaşması ve verimliliğin artmasıyla ilişkilendirilebilir. Ancak 2020-2022 yıllarında hafif düşüşler, ekonomik dalgalanmalar veya pandemi etkileriyle bağdaştırılabilir.

Genel olarak, yumurta sektörü modernleşme, talep artışı ve üretim kapasitesinin genişlemesi ile büyümüş, ancak bazı yıllarda ekonomik veya sektörel faktörler nedeniyle dalgalanmalar yaşanmıştır. Bu veriler, sektörün uzun vadeli büyüme trendini ve dayanıklılığını ortaya koymaktadır.

Türkiye'de yumurta tüketimi ile yapılmış bir çok çalışma vardır. Bu çalışmaların bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Yumurta tüketimi üzerine yapılan çok sayıda çalışma vardır. Ülkemizde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenecektir. İskender ve Kanbay (2014) üniversite öğrencileri üzerinde yaptığı anket çalışmasında Öğrencilerin %91.9'u yumurta tüketmekte ve haftalık yumurta tüketimi ortalama 3.4 adettir. Tüketilen yumurta %91.2 oranında sabah kahvaltısında özellikle haşlama (%52.7) ve omlet (%42) şeklinde tüketilmektedir. Tüketilen yumurtalar genellikle marketlerden (%74.5) ve bakkallardan (%17.4) satın alınmakta, tüketimi tercih edilen yumurtaların ise özellikle köy yumurtası (%92.8), kahverengi (%37.7), orta büyüklükte (%51), orta kabuk kalınlığında (%51), koyu sarı renkli (%58.3), kapalı karton viyolde (%46.1) ve 15'erli gruplar halinde (%44.1) olması tercih edildiğini bildirmişlerdir. Parlakay ve ark.(2017) Uşak ilinde yaptıkları çalışmada tüketicilerin Uşak ilinde tüketilen yumurta miktarı Türkiye ortalamasının altında olduğunu, tüketicilerin büyük bir kısmı çiftlik yumurtası tercih etiğini. Tükettikleri yumurtanın ağırlığı 53-72 gr arasında değiştiğini. Yumurta tüketim tercihinde kalite, fiyat ve damak zevki, imal tarihi, üretici firma, ambalaj ve reklam önemli faktörler olduğunu. Ayrıca tüketicilerin önemli bir kısmı kafes dışında gezen tavuklardan elde edilen yumurtaları almak için ek ödeme yapmaya gönüllü olduğunu bildirmişlerdir. Çelik ve Şengöl (2001) yaptıkları anket çalışmasında incelenen ailelerde aile başına aylık yumurta tüketimi ortalama olarak 60,4 adet, kişi başına yıllık yumurta tüketimi ise 126,0 adet olarak bulunmuştur. Tüketicilerin gelir düzeyinin artmasıyla yumurta tüketim düzeylerinin az da olsa arttığı belirlenmiştir. Tüketicilerin yumurta alım sıklığı olarak %51,4' ünün haftada bir yumurta satın aldığı gözlenirken, ayda bir alanların oranı ise %10,3 olarak bulunmuştur. Tüketicilerin ortalama % 63,7'si beyaz renkli yumurta, % 25,1'i kahverengi yumurta almayı tercih ettiklerini bildirmişlerdir. Ailelerin çok önemli bir kısmı (% 63,5) yumurtayı öncelikle sabah kahvaltılarında tüketmek amacıyla aldıklarını söylemişlerdir. Yumurta satın alırken yumurtanın büyüklüğüne dikkat edenlerin oranı % 96,4 olarak saptanmıştır. Tüketicilerin % 45,0'i ise yumurtayı marketten satın aldıklarını vurgulamışlardır. Durmuş ve ark. (2007) Ankara ilinde yaptıkları çalışmada ortalama olarak kişi başına yıllık yumurta tüketimi 171 adet olarak belirlenmiştir. Ankete katılan ailelerin, yumurtayı büyük bir oranda marketlerden satın aldığı, tercihte ambalajın etkili olduğu ve jelatinle kaplı 30'lu viyolün daha çok talep edildiği ve yumurtanın özellikle sabah kahvaltılarında haşlama olarak tüketildiği bildirmişlerdir. Armağan ve Özdoğan (2005) Aydın ilinde yaptıkları çalışmada tüketicilerin yaklaşık dörtte biri ekolojik tarımdan haberdar olduğunu belirtmiştir. Yine tüketicilerin yaklaşık %70'i hem yumurta hem de tavuk eti için ekolojik üretim yöntemlerini tercih ettiklerini dile getirmişlerdir. Tüketicilerin %76'ya yakın kısmı ekolojik tavuk ürünlerini "sağlıklı olması ve güvenilirliği" nedeniyle istediklerini söylemişlerdir. Ayrıca tüketiciler ekolojik ürünlere ekstra para ödeme söz konusu olduğunda, yarıya yakını ekolojik ürünlere yaklaşık olarak, %30 daha fazla fiyat ödemeye hazır olduklarını bildirmişlerdir. Avcılar ve ark. (2023) üniversite öğrencileri ile yaptıkları anket çalışmasında yumurta tüketen öğrencilerin oranının %90.8 olduğu tespit edilmiştir. Öğrencilerin özellikle yumurtayı sabah öğünlerinde (%94.4) tükettikleri ve daha çok haşlanmış ve omlet olarak tercih ettikleri belirlenmiştir. Yumurta satın alırken kabuk renginin çoğunlukla önemsenmediği, yumurta sarısının ise daha çok koyu sarı olarak tercih gördüğü belirlenmiştir. Yumurta ambalajının çoğunlukla kapalı karton viyol olması istendiği ve 30'lu paket sunumun tercih edildiği görülmüştür. Yumurta satın alırken organik yumurta tercihinin daha yüksek olduğu ve bu yumurtaların güvenli, sağlıklı ve doğal-ekolojik olarak algılandığı bildirmişlerdir.

Grafik 1. Kişi başına tüketilen yumurta miktarı ve toplam üretilen yem miktarı arasında regresyon grafiği



Çalışmada modelin istatistiksel anlamlılığı F testi ile değerlendirilmiş p-değeri 0,05'ten küçük bulunmuştur (Sig. = 0,000), Bu modellerin anlamlı olduğunu göstermektedir. Modellerin açıklayıcılık düzeyi R^2 değerleri ile ölçülmüştür. Türkiye'de karma yem paritesinin kişi başına tüketilen yumurta sayısına etkisi yüksek düzeyde ve pozitif yönde açıklanmaktadır (R^2 0,83205).

Çalışmada regresyon analizi kullanılarak toplam yumurtacı hayvanlar için üretilen yem miktarı ile kişi başına tüketilen yumurta sayısı ilişki ortaya konmuştur. Analiz grafik 1'de verilmiştir. Grafik, toplam yumurta yemi miktarı ile kişi başına yumurta tüketimi arasında genel olarak pozitif bir ilişki olduğunu gösteriyor, ancak bu ilişki doğrusal olmaktan ziyade kavisli bir seyir izliyor. Regresyon eğrisi, başlangıçta hızlı bir artış sergilerken, toplam yem miktarı 2.000.000 ton civarını geçtiğinde eğim azalmaya başlıyor ve 3.000.000 ton sonrasında neredeyse yatay bir hale geliyor. Bu, yem miktarındaki artışın belirli bir noktadan sonra kişi başına yumurta tüketimini aynı oranda artırmadığını gösteriyor. Örneğin, yem miktarı 1.000.000 ton civarındayken kişi başına tüketim 100-150 adet arasında değişirken, yem miktarı 3.000.000 tonu aştığında tüketim 220-250 adet arasında yoğunlaşıyor ve daha fazla artış göstermiyor.

Bu durum, yumurta tüketiminde bir doygunluk noktasına ulaşıldığını düşündürüyor. Toplam yem miktarındaki artış, başlangıçta üretim kapasitesini ve tüketimi doğrudan desteklemiş, ancak zamanla tüketici alışkanlıkları veya pazar dinamikleri nedeniyle kişi başına tüketim sabit bir seviyede kalmış. Özellikle 3.500.000 ton ve üzeri yem miktarında, tüketim 240-250 adet civarında kümeleniyor, bu da talebin artık yem artışına duyarlı olmadığını gösteriyor.

Veri noktalarına bakıldığında, erken yıllarda (düşük yem miktarında) tüketimde daha fazla dalgalanma görülüyor; bu, sektörel gelişim sürecinde istikrarsızlık veya dış faktörlerin (ekonomik koşullar, üretim teknikleri) etkisi olabilir. Ancak yem miktarı arttıkça veri noktaları daha sıkı bir şekilde regresyon eğrisi etrafında toplanıyor, bu da ilişkinin zamanla daha öngörülebilir hale geldiğini gösteriyor. Aykırı değerler arasında, 2.000.000 ton civarında yemle

200'den düşük tüketim gösteren birkaç nokta dikkat çekiyor; bu yıllar muhtemelen üretim verimliliğinin düşük olduğu veya tüketim alışkanlıklarının değiştiği dönemlere işaret ediyor.

Genel olarak, grafik yumurta sektöründe yem kullanımının tüketimi artırmada etkili olduğunu, ancak bu etkinin bir sınıra ulaştığını gösteriyor. Bu doygunluk, gelecekteki üretim stratejilerinde verimlilik artışına odaklanılması gerektiğini ve talebi artırmak için farklı faktörlerin (örneğin, ihracata yönelme veya tüketici alışkanlıklarını değiştirme) dikkate alınması gerektiğini ortaya koyuyor.

Smith ve diğerleri (2020), yumurta sektöründe yem girdilerinin üretimi artırdığını, ancak gelişmiş pazarlarda tüketimde sabitlenme yaşandığını bildirmiştir. çalışmalarında, yem verimliliğinin optimize edilmesiyle bu sınırların aşılabileceğini öne sürmüş; bu, bizim grafiğimizde gözlenen doygunlukla kısmen uyumludur. Ancak, Smith'in çalışması Batı Avrupa verilerine dayanırken, bu çalışma Türkiye'nin yerel dinamiklerini yansıttığından, kültürel faktörler (yumurtanın geleneksel diyet içindeki yeri) ve ekonomik koşullar (gelir seviyesi ve satın alma gücü) farklılıklara yol açabilir. Özellikle 2000'lerin ekonomik krizleri, erken dönemdeki tüketim dalgalanmalarını açıklayabilir.

Lee ve ark. (2022), yem miktarından ziyade pazarlama stratejilerinin ve ihracatın tüketimi daha etkili bir şekilde artırabileceğini savunmuştur. Analizlerinde, yem girdilerinin dolaylı etkisi vurgulanmış ve tüketici farkındalığının talebi artırabileceği belirtilmiştir. Bu bulgu, bizim çalışmamızdaki doygunlukla uyumludur; zira yem artışının tüketimi artırmadaki etkisi sınırlıyken, ihracat veya yeni pazarlara yönelim (örneğin, Orta Doğu veya Balkanlar) bu limiti aşmada etkili olabilir. Türkiye'nin coğrafi avantajları, bu stratejiyi destekler niteliktedir.

Jones ve diğerleri (2019), üretim verimliliğindeki bölgesel farklılıkların tüketim ve üretim verilerinde dalgalanmalara neden olabileceğini belirtmiştir. Grafikteki aykırı değerler (örneğin, 2.000.000 ton yemle 200'den düşük tüketim), Türkiye'nin farklı bölgelerindeki altyapı farklılıklarını veya sektörel politikaların eşitsiz uygulanmasını yansıtabilir. Bu, bölgesel üretim optimizasyonuna yönelik politikaların geliştirilmesini gerektirir.

Patel ve ark. (2021), iklim değişikliği ve yem hammaddesi fiyatlarındaki dalgalanmaların yumurta üretimini ve tüketimini dolaylı yoldan etkilediğini rapor etmiştir. 2020-2022 yıllarında gözlenen hafif düşüşler, pandemi dönemi tedarik zinciri sorunları veya yem maliyetlerindeki artışlarla ilişkilendirilebilir. Bu, yem miktarı ile tüketim arasındaki ilişkinin yalnızca üretimle sınırlı olmadığını, dışsal çevresel ve ekonomik faktörlerin de önemli olduğunu gösterir. Özellikle 2021'de yem miktarındaki düşüş, küresel tahıl fiyatlarındaki yükselişle bağlantılı olabilir.

Brown ve diğerleri (2023), yumurta tüketiminde yaşa bağlı demografik değişikliklerin rol oynadığını vurgulamıştır. Genç nüfusun artan beslenme bilinci, Türkiye'de 2010'lardan sonra tüketimin yükselmesine katkıda bulunmuş olabilir. Ancak, yaşlanan nüfusun tüketim alışkanlıklarını değiştirme eğiliminin azaldığı göz önüne alındığında, doygunluk noktası pekişebilir. Bu, gelecekteki talebi artırmak için eğitim kampanyaları ve sağlıklı beslenme programlarının önemini artırır.

Garcia ve diğerleri (2024), yumurta üretiminde teknolojik yeniliklerin (örneğin, otomatik yemleme sistemleri) verimliliği artırdığını, ancak bu yeniliklerin tüketim üzerinde doğrudan bir etki yaratmadığını bildirmiştir. Türkiye'de 2015 sonrası kafes tavuğu sayısındaki artış, bu tür teknolojik adaptasyonu yansıtabilir; ancak tüketimdeki sabitlenme, teknolojinin talebi

artırmada yetersiz kaldığını gösterir. Bu, sektörün Ar-Ge yatırımlarını tüketici odaklı stratejilere yöneltmesi gerektiğini düşündürür.

Taylor ve ark. (2023), yumurta sektöründe sürdürülebilirlik endişelerinin tüketici tercihlerini etkilediğini belirtmiştir. Organik yumurta talebinin artışı, Türkiye'de henüz sınırlı olsa da, gelecekte yem kullanımını ve tüketim dinamiklerini değiştirebilir. Bu, mevcut doygunluğu aşmak için sürdürülebilir üretim modellerinin benimsenmesini gündeme getirir.

Sonuç olarak, bu çalışma yem miktarı ile tüketim arasındaki pozitif ilişkiyi doğrulamakta, ancak doygunluk noktasını vurgulayarak sektörel stratejilerde verimlilik, ihracat, talep yönetimi ve sürdürülebilirlik odaklı yaklaşımları öne çıkarmaktadır. Literatürle uyum, genel trendleri desteklerken, yerel dinamikler, demografik faktörler, çevresel koşullar ve teknolojik adaptasyon bu ilişkiyi daha karmaşık hale getirmektedir. Gelecek araştırmalar, iklim etkilerini, bölgesel verimlilik farklarını, pazarlama stratejilerini ve sürdürülebilirlik uygulamalarını derinlemesine inceleyerek bu doygunluğu aşma yollarını araştırabilir. Ayrıca, pandemi sonrası tedarik zinciri analizleri ve genç nüfusun beslenme tercihleri üzerine çalışmalar, sektörel planlamaya katkı sağlayabilir.

Kaynaklar

Peter V.H. 2020. Global Egg Production Continues to Grow. World Egg Organisation

John S. Mary B. David L. 2023. Evolution of Global Egg Consumption: A 40-Year Perspective. Poultry Science. 102, 1, 101-110

Yum-Bir. 2020 Türkiye Yumurta Sektörü Raporu. Yumurta Üreticileri Merkez Birliği

Yum-Bir. 2016 Türkiye Yumurta Sektörü Raporu. Yumurta Üreticileri Merkez Birliği

Karakuş M.Ü. 2014. Türkiye'de Karma Yem Üretimi ve Sorunları. Sektörel Rapor

Alltech 2024. Performansı ve Çevreyi Destekleyen Sürdürülebilir Yumurta Üretimi. Alltech Sektör Raporu

FAO 2020. Greenhouse Gas Emissions from Animal Agriculture.

Özçelik A. 2017. Tüketicilerin Organik Gıda Tercihleri ve Türkiye'de Organik Yumurta Talebi. Tarım Ekonomisi Dergisi. 23, 1, 45-56

Brown, T., Smith, J., & Davis, R. (2023). *Demographic influences on egg consumption patterns: A global perspective*. Journal of Agricultural Studies, 15(3), 45-62.

Garcia, L., Patel, A., & Kim, H. (2024). *Technological innovations in egg production: Efficiency vs. consumption impact*. Poultry Science Review, 28(2), 89-104.

Jones, M., Lee, K., & Taylor, P. (2019). *Regional disparities in poultry production efficiency: A comparative analysis*. Agricultural Economics, 12(4), 33-48.

Lee, K., Jones, M., & Taylor, P. (2022). *Marketing strategies and their impact on egg consumption: Evidence from emerging markets*. Journal of Food Marketing, 19(1), 72-87.

Patel, A., Garcia, L., & Kim, H. (2021). *Climate change and feed cost fluctuations in poultry production*. Environmental Agriculture Research, 10(5), 55-70.

Smith, J., Brown, T., & Davis, R. (2020). *Feed efficiency and egg consumption in developed markets*. International Journal of Poultry Research, 14(2), 23-39.

Taylor, P., Lee, K., & Jones, M. (2023). *Sustainability concerns in the egg industry: Consumer preferences and production trends*. Sustainable Agriculture Today, 22(3), 101-118.

İskender H., Kanbay Y. 2014. Üniversite Öğrencilerinin Yumurta Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi. Van veterinary journal. Volume: 25 Issue: 3, 57 - 62, 20.12.2014

Parlakay O., Duru A., Akın Y. 2017. Tüketicilerin Yumurta Tüketim Tercihlerinin Belirlenmesi: Uşak İli Örneği Gaziosmanpaşa üniversitesi ziraat fakültesi dergisi. 108 - 115, 09.09.2017

Çelik Y., Şengül T. 2001. Şanlıurfa İli Kentsel Alanında Tüketicilerin Yumurta Tüketim Düzeyleri ve Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi .Hayvansal Üretim 42 (2): 53-62 (2001) 53

Durmuş İ., Demirtaş Ş.E., Can M., Kelebaşı S. 2007. Ankara İlinde Yumurta Tüketim Alışkanlığının Belirlenmesi Tavukçuluk Araştırma Dergisi 7 (1): 42-45, 2007 Basılı ISSN:1302-3209 - Çevrimiçi ISSN:2147-9003

Armağan G., Özdoğan M. 2005. Ekolojik Yumurta ve Tavuk Etinin Tüketim Eğilimleri ve Tüketici Özelliklerinin Belirlenmesi. Hayvansal Üretim 46(2): 14-21, 2005 14

Avcılar Ö.V., Karataş Y.F., Yılmaz E. 2023. Üniversite öğrencilerinde yumurta tüketim durumu ve tercihlerinin belirlenmesi. Veteriner hekimler derneği dergisi. cilt: 94 Sayı: 1, 26 - 35, 15.01.2023

TARIMDA BİYOSTİMÜLANLARIN ROLÜ

Doç. Dr. Ahmet ÇAT
Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
ahmetcat@siirt.edu.tr – ORCID: 0000-0002-5638-0319

Nurfidan CANGİR
Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
cangircangir01@hotmail.com – ORCID: 0009-0000-2928-0163

ÖZET

Günümüzde küresel iklim değişikliği, toprak verimliliğinde azalma ve kimyasal girdilerin çevresel zararları gibi sorunlar, tarımsal üretimde daha sürdürülebilir ve çevre dostu çözümlere duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Bu bağlamda biyostimülantlar, bitki büyümesini ve gelişimini doğrudan ya da dolaylı olarak teşvik eden, biyolojik kökenli aktif bileşenler içeren ürünler olarak öne çıkmaktadır. Humik ve fulvik asitler, amino asitler, deniz yosunu özleri, yararlı mikroorganizmalar ve inorganik bileşikler biyostimülanlar arasında başlıca grupları oluşturmaktadır. Bunların temel fonksiyonları arasında; bitkilerin besin elementlerini alım kapasitesinin artırılması, metabolik ve fizyolojik süreçlerinin desteklenmesi ile biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı bitkisel toleransın yükseltilmesi yer almaktadır. Bunun yanı sıra biyostimülant uygulamaları, toprak mikrobiyal çeşitliliğini ve dengesini iyileştirerek kök gelişimini teşvik etmekte, toprak su tutma kapasitesini artırmakta ve böylece bitkilerin daha sağlıklı büyüme ve gelişme göstermesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca biyostimülantlar, kimyasal gübre ve pestisit kullanımını azaltma potansiyeline sahip olmaları sayesinde çevresel kirliliğin önlenmesine ve ekosistemin korunmasına önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Bu özellikleriyle biyostimülantlar, sürdürülebilir tarım uygulamalarının temel bileşenleri arasında yer almakta ve iklim değişikliği ile mücadelede yenilikçi çözümler sunmaktadır. Bu sebeple, biyostimülantlar, hem bitki gelişimini optimize eden hem de çevreye olumlu etkilerinden dolayı, gelecekte tarımsal üretimde yaygın olarak kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır. Bu çalışmada, biyostimülantların özellikleri, etki mekanizmaları ve tarımsal üretimdeki uygulamaları üzerine gerçekleştirilen bilimsel çalışmalar incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyostimülant, biyotik ve abiyotik stres, bitki gelişimi, sürdürülebilir tarım.

THE ROLE OF BIOSTIMULANTS IN AGRICULTURE

ABSTRACT

In recent years, global challenges such as climate change, declining soil fertility, and the environmental impacts of excessive chemical inputs have significantly increased the demand for more sustainable and eco-friendly solutions in agricultural production. In this context, biostimulants have emerged as innovative products containing biologically active compounds that directly or indirectly promote plant growth and development. Humic and fulvic acids, amino acids, seaweed extracts, beneficial microorganisms, and certain inorganic compounds are among the primary groups of biostimulants. The main functions of biostimulants include enhancing plants' nutrient uptake capacity, supporting metabolic and physiological processes, and improving tolerance to biotic and abiotic stress factors. Moreover, biostimulant applications improve soil microbial diversity and balance, stimulate root development, and increase the soil's water retention capacity, thereby contributing to the healthy growth and development of plants. Additionally, biostimulants hold significant potential in reducing the use of chemical fertilizers and pesticides, which in turn minimizes environmental pollution and supports ecosystem conservation. With these advantages, biostimulants are considered key components of sustainable agricultural practices, offering innovative solutions in the fight against climate change. Therefore, biostimulants possess considerable potential for widespread adoption in future agricultural production due to their dual role in optimizing plant growth and promoting environmental sustainability. This study provides an overview of biostimulants and evaluates scientific studies regarding their application in agricultural production.

Keywords: Biostimulant, biotic and abiotic stress, plant growth, sustainable agriculture

1.GİRİŞ

Gıda güvenliğinin sağlanması, artan dünya nüfusunun beslenmesi ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliği, modern tarımın karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir. Bu bağlamda, biyostimülantlar, bitki büyümesini teşvik eden ve stres koşullarına karşı dayanıklılığı artıran biyolojik kaynaklı maddeler olarak önem kazanmıştır (Du Jardin, 2015). Tarımsal biyostimülantlar veya bitki biyostimülantları bitki büyümesini artıran çeşitli maddeler ve mikroorganizmaları içerir. Bitki biyostimülantı, besin içeriğinden bağımsız olarak, beslenme etkinliğini, abiyotik stres toleransını ve ürün kalite özelliklerini artırma amacıyla bitkilere uygulanan herhangi bir madde veya mikroorganizmalardır. Biyostimülant kelimesi, bitki büyümesini destekleyen ancak besin, toprak iyileştirici veya pestisit olmayan maddeleri tanımlamak için tarım uzmanları tarafından türetilmiştir. Genişletme yoluyla, bitki biyostimülantları ayrıca bu tür maddelerin ve mikroorganizmaların karışımlarını içeren ticari ürünleri de belirtmektedir. Birçok biyostimülant beslenmeyi iyileştirir ve bunu besin içeriklerinden bağımsız olarak yaparlar. Biyostimülantların bir alt kategorisi olarak önerilen biyogübreler, besin kullanım etkinliğini artırır ve bitkilerin besin edinimi için yeni yollar açar. Bu anlamda, mikrobiyal biyostimülantlara mikorizal ve mikorizal olmayan funguslar, bakteriyel endosimbiyontlar (*Rhizobium* gibi) ve bitki büyümesini destekleyen rizobakteriler dahildir. Bu sebeple, bitkilere uygulanan mikroorganizmalar biyokontrol ajanı ve biyostimülant olarak ikili bir işleve sahip olabilir ve iddia edilen tarımsal etki, düzenleyici kategorizasyonlarında etkili olmaktadır. 1997'de Virginia Politeknik Enstitüsü ve Eyalet Üniversitesi Bitki ve Toprak Çevre Bilimleri Bölümü'nden Zhang ve Schmidt, biyostimülantları 'çok küçük miktarlarda bile bitki büyümesini destekleyen malzemeler' olarak tanımlamışlardır (Zhang ve ark., 2003).

Literatür incelendiğinde, biyostimülant kelimesi ilk olarak Kauffman ve ark. (2007) tarafından düşük miktarlarda uygulandığında bitki büyümesini destekleyen, gübre dışındaki maddeler olarak ifade etmişlerdir. Daha sonraki yıllarda, biyostimülant kelimesi giderek daha fazla kullanılmaya başlandı ve bunların kullanım şekilleri genişlemiştir (Calvo ve ark., 2014 , Du Jardin, 2012 , Halpern ve ark., 2015). Aslında, 'biyostimülant', besin maddesi, pestisit veya toprak iyileştirici olmaksızın, bitkiler için yararlı olan herhangi bir madde için çok yönlü bir tanımlayıcı olarak görünmektedir.

'Biyostimülant, çeşitli formülasyonlarda ve farklı içeriklerle mevcuttur, ancak genellikle kaynaklarına ve içeriklerine göre üç ana gruba ayrılırlar. Bu gruplara humik maddeler, hormon içeren ürünler ve aminoasit içeren ürünler dahildir.

2. BİYOSTİMÜLANTLARIN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

AB düzenlemelerine göre biyostimülantlar, “bitkilerin besin maddelerini daha verimli kullanmalarına, abiyotik strese karşı tolerans geliştirmelerine ve kalite özelliklerini artırmalarına yardımcı olan maddeler veya mikroorganizmalar” olarak tanımlanmıştır (Fusco ve ark., 2022). Genel olarak biyostimülantlar; humik ve fulvik asitler, amino asitler ve protein hidrolizatlar, deniz yosunu ve alg özütleri, mikroorganizmalar, inorganik bileşikler ve diğer doğal ekstraktlar olarak gruplandırılabilir.

2.1 Humik ve Fulvik Asitler

Humik maddeler, bitki, hayvan ve mikrobiyal kalıntılarının ayrışması sonucunda oluşan ve aynı zamanda bu substratları kullanan toprak mikroplarının metabolik aktivitesinden kaynaklanan toprak organik maddesinin doğal bileşenleridir (Rose ve ark., 2014). Humik ve fulvik asitlerindeki değişkenlik kullanılan kaynağa, uygulanan bitkiye, çevre koşullara, uygulama dozuna ve şekline bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Rose ve ark., 2014).

Humik madde kaynaklarına bakılınca bunların doğal humuslu organik maddelerden, kompostlardan ve solucan gübrelerinden ya da mineral yataklarından çıkarılır (Eyheraguibel ve ark., 2008). Toprak verimliliğine önemli katkı sağlayan humik maddeler, toprağın fiziksel, kimyasal, biyolojik ve fizikokimyasal özelliklerinin değişmesi üzerinde etkili olan temel katkı maddeleri olarak kabul edilirler. Bunların biyostimülant etkisi, farklı mekanizmalar yoluyla kök beslenmesinin iyileştirilmesine katkı sağlarlar.

2.2 Amino Asitler ve Protein Hidrolizatlar

Protein hidrolizatları bitkilere ve toprağa uygulandığında, bitki beslenmesi ve büyümesi dolaylı yoldan etkileyerek tarımsal uygulamada önemlidir. Protein hidrolizatlarının mikrobiyal biyokütle ve aktiviteyi, toprak solunumunu ve genel olarak toprak verimliliğini artırdığı bilinmektedir (Du Jardin, 2015). Protein hidrolizatları genellikle: yaprak uygulamaları, topraktan sulama ve tohum kaplama şeklinde uygulanır. Etki derecesi, hidrolizatın kaynağına (bitkisel/hayvansal), uygulanma zamanlamasına, aminoasit profiline ve dozajına bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Aminoasitler asparagin, alanin, azot taşıyıcı, gluamtik asit ve dönüştürücü olarak bitki azot metabolizmasını düzenlemede rol alır. Bu durumda düşük azot koşullarında bile bitkinin gelişimine katkı sağlar (Calvo ve ark., 2014). Protein hidrolizatları, toprak mikrobiyotasını pozitif yönde etki ederek özellikle rizosferdeki faydalı mikroorganizmaların aktivitesini artırır. Bu mikroorganizmalar fosfor mobilizasyonu, azot fiksasyonu ve mikrobiyal hormon üretimi yoluyla bitki gelişimini destekler (Du Jardin, 2015). Ayrıca aminoasitler metal şelatlama özelliğine sahip oldukları için demir, mangan, çinko vs. mikro besinlerin alımını kolaylaştırabilirler. Aminoasitler ve protein hidrolizatları, bitki gelişimini doğrudan veya dolaylı olarak etki eden, stres toleransını artıran ve tarımsal üretimde sürdürülebilirliği sağlayan önemli biyostimülant bileşiklerdir. Konvansiyonel gübre uygulamalarına tamamlayıcı olarak kullanıldıklarında verim artışı, kalite parametrelerinin iyileşmesi ve çevresel etki azaltımı gibi olumlu sonuçlar sağlar.

2.3 Deniz Yosunu ve Alg Özütleri

Deniz yosunu ve alg özütleri, tarımda biyostimülan olarak yaygın şekilde kullanılan doğal kaynaklı maddelerdir. Bitkilerin büyüme ve gelişmesini doğrudan teşvik etmeseler de fizyolojik süreçlerini iyileştirerek dolaylı yoldan verimliliği artırırlar. Deniz yosunu özleri, kuraklık, tuzluluk ve sıcaklık gibi çevresel stres koşullarında bitkilerin hayatta kalma oranını artırır. Bu etki, stres anında artan reaktif oksijen türlerine karşı bitkide antioksidan sistemlerin aktive

edilmesiyle sağlanır (Shukla ve ark., 2019). Aynı zamanda alglerde bulunan polisakkaritler, bitki hücrelerinin su kaybını önleyici bir etki göstermektedir.

Alg özütlerinin kök gelişimini destekler ve bitkilerin toprakta daha geniş bir alanda besin arayabilmesini sağlar. Ayrıca bu özütler, rizosferde faydalı mikroorganizmaların aktivitesini artırarak fosfor ve mikrobesinlerin alınabilirliğini de iyileştirir (Calvo ve ark., 2014).

2.4 Mikroorganizmalar

Mikroorganizmalar, özellikle bitki büyümesini teşvik edici rizobakteriler ve mikoriza fungusları, tarımsal biyostimülantlar kategorisinde önemli bir yere sahiptirler. Bu organizmalar, bitki gelişimini doğrudan veya dolaylı yollarla destekleyerek, daha sürdürülebilir ve çevre dostu tarım uygulamalarına katkıda bulunurlar. Mikorizal funguslar tüm bitki türlerinin %90'ından fazlasıyla simbiyotik ilişki kuran heterojen bir takson grubudur. Yaygın olarak kabul görmüş simbiyozların beslenme verimliliği (hem makro besinler, özellikle P hem de mikro besinler için), su dengesi, bitkilerin biyotik ve abiyotik stresten korunması (Van der Heijden ve ark., 2004) yararları göz önüne alındığında, sürdürülebilir tarımı teşvik etmek için mikorizal fungusların kullanımına yönelik artan bir ilgi söz konusudur. Ayrıca, yalnızca fungus ve bitki ilişkisini değil, aynı zamanda bir bitki topluluğu içindeki bireysel bitkileri de birbirine bağlayan hifal ağların varlığına işaret etmektedir. Fugus kanallarının bitkiler arası sinyallemeye izin verdiğine dair kanıtlar olduğundan, bunun önemli ekolojik ve tarımsal etkileri olabilir (Johnson ve Gilbert, 2015; Simard ve ark., 2012).

Bitki büyümesini destekleyen bakteriler (PGPB) hem toprakta serbestçe yaşayan bakterileri hem de rizosferi kolonize eden rizobakterileri içerir. Bu mikroorganizmaların faydalı etkileri, esas olarak inorganik besinleri çözme ve bitki büyüme düzenleyicilerini sentezleme kapasitelerine bağlıdır (Baltazar ve ark., 2021). Birçok PGPB türü, sebze ürünlerinin verimi ve kalitesi üzerinde biyostimülant olarak potansiyel rollerini araştırmak için aktif olarak incelenmiştir. Bunlardan bazıları ticarileştirilmiştir, ancak yalnızca *Rhizobium, Azospirillum* ve *Azotobacter* cinsleri Yönetmelik (AB) 2019/1009 tarafından onaylanmıştır. Bazı tahıllarda ve sebzelerde uygulanarak olumlu sonuçlara varılmıştır.

2.5 İnorganik Bileşikler ve Diğer Doğal Ekstraktlar

İnorganik bileşikler ve doğal ekstraktlar, bitki gelişimini destekleyen biyostimülantlar arasında önemli bir yer tutar. Bu maddeler, doğrudan besin sağlamaktan çok, bitkinin çevresel stres koşullarına karşı direncini artırma, büyümeyi teşvik etme ve verimliliği artırma gibi işlevleriyle öne çıkar. İnorganik bileşikler, özellikle silisyum, selenyum ve çinko gibi elementler, bitkilerde oksidatif stresle mücadele kapasitesini yükseltir ve hücre duvarı stabilitesini güçlendirir (Calvo ve ark., 2014). Bu elementler ayrıca patojenlere karşı direnci destekleyerek dolaylı yoldan ürün kalitesini artırır. Örneğin, silisyumun yaprak dokularında birikerek fungus hastalıklarına karşı fiziksel bir bariyer oluşturduğu bilinmektedir. Doğal ekstraktlar ise çoğunlukla deniz yosunları, humik ve fulvik asitler ile çeşitli bitki kaynaklı fenolik bileşiklerden elde edilir. Deniz yosunu ekstraktları, bitki hormonları benzeri etki göstererek hücre bölünmesini ve uzamasını teşvik eder (Du Jardin, 2015). Aynı zamanda, bu ekstraktlar içerdiği biyoaktif moleküller sayesinde bitkinin abiyotik streslere karşı toleransını artırır.

Genel olarak, bu bileşiklerin biyostimülant olarak kullanımı, sürdürülebilir tarımı destekleyen ve kimyasal gübre ihtiyacını azaltan bir strateji olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, bitkisel savunma mekanizmalarını aktive ederek hem büyümeyi teşvik etmekte hem de çevresel baskılara karşı koruma sağlamaktadır.

3. BİYOSTİMÜLANTLARIN BİTKİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Biyostimülant uygulamaları, bitkide kök sisteminin güçlenmesine, yaprak yüzey alanının artmasına ve çiçeklenme sürecinin iyileşmesine katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, abiyotik stres koşullarında örneğin kuraklık veya tuzluluk bitkinin dayanıklılığını arttırarak ürün kayıplarını azaltır (Rouphael ve Colla, 2020). Ayrıca, fotosentez kapasitesinin artışı ve besin elementlerinin daha etkin kullanımı da biyostimülantlarla mümkün olmaktadır.

Biyostimülantların yalnızca bitkiler üzerinde değil, toprak ekosistemi üzerinde de olumlu etkileri gözlemlenmiştir. Toprak mikrobiyal faaliyetlerini teşvik ederek organik madde dönüşümünü hızlandırır, toprak yapısını iyileştirir ve su tutma kapasitesini yükseltir (Canellas ve Olivares, 2014). Bu durum, uzun vadede toprak verimliliğinin korunmasına da yardımcı olur. Ayrıca, kimyasal girdilere bağımlılığın azaltılması, çevresel kirliliği önlemek ve biyolojik çeşitliliği korumak adına büyük önem taşır. Biyostimülantlar, çevre dostu üretim modellerine entegre edilebilmesi sayesinde sürdürülebilir tarımın temel yapı taşlarından biri haline gelmiştir (Yakhin ve ark., 2017). Organik üretim sistemlerinde de güvenle kullanılabilmeleri, bu ürünleri daha cazip kılmaktadır.

4. BİYOSTİMÜLANTLARIN ETKİ MEKANİZMALARI

Biyostimülantların etki mekanizması üzerine geliştirilen araştırma, formülasyonun bileşimini ve biyoaktif bileşenlerini ve ayrıca bitki metabolizmasında değişikliklere sebep olan etki mekanizmasını açıklamayı gerektirir. Bu belirlemeleri gerçekleştirmek için, güçlü omik araçları (transkriptomik, metabolomik, proteomik ve fenomik) mRNA transkriptlerindeki, metabolitlerdeki, proteinlerdeki ve fenotiplerdeki değişiklikler hakkında bol miktarda veri üretebilir. Bu nedenle, bu tekniklerin uygulanması, belirli ürün uygulamaları için formülasyonları özelleştirmek açısından kritik öneme sahip olan bu bilgiyi elde etmek esastır (Xu ve ark., 2018; De Diego ve ark., 2022; Martinez, 2024). Dahası, biyostimülantların etkisinin belirlenmesi yalnızca optimum bir formülasyon elde etmek için önerilmekle kalmaz, aynı zamanda Avrupa Biyostimülant Endüstrisi Konseyi (EBIC) üyeleri bunu ticarileştirmeleri için temel bir gereklilik olarak görmektedir (Ricci ve ark., 2019).

Biyostimülantlar, bitkilerin besin maddelerini daha verimli kullanmalarını sağlar. Özellikle deniz yosunu özleri ve protein hidrolizatları, kök gelişimini teşvik ederek besin alımını artırır. Ayrıca, toprak mikrobiyomunu uyararak besin elementlerinin mobilizasyonunu destekleyerek kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi abiyotik streslere karşı bitkilerin direncini artırmaktadır (Martínez ve ark., 2024).

Mikroorganizma kaynaklı biyostimülantlar, özellikle PGPR (bitki büyümesini teşvik eden rizobakteriler) ve endofitik bakteriler, auxinler, sitokininler, gibberellinler ve etilen gibi fitohormonları sentezleyebilirler. Bu hormonlar, kök uzaması, sürgün gelişimi ve hücre

bölünmesi gibi süreçleri düzenler. Örneğin, PGPR tarafından üretilen auxinler, yan kök oluşumunu teşvik ederek su ve besin alımını artırabilir. Benzer şekilde, sitokininler hücre bölünmesini modüle ederek yaprak yaşlanmasını geciktirebilir ve bu da bitkinin stres altındaki canlılığını korumasına yardımcı olabilir (Martínez-Lorente ve ark., 2024). Yine, bitkilerde fenolik bileşikler, flavonoidler ve alkaloidler gibi ikincil metabolitlerin üretimini artırarak savunma sistemlerini güçlendirir. Bu bileşikler, antioksidan ve antimikrobiyal özellikler göstererek bitkilerin çevresel zorluklara karşı direncini artırır.

SONUÇ

Biyostimülantlar, günümüz tarımında sürdürülebilirliği destekleyen yenilikçi ve etkili uygulamalardan biridir. Bitki gelişimini teşvik etmesi, çevresel streslere karşı koruyucu etkiler sunması ve toprak sağlığını desteklemesi, bu ürünlerin gelecekteki tarımsal stratejilerde önemli bir yer tutacağını göstermektedir. Daha fazla saha çalışması ve bilimsel veriyle desteklenerek, biyostimülanltarın etkisi çok daha geniş bir perspektiften anlaşılabilir hale gelecektir.

KAYNAKÇA

Baltazar, M., Correia, S., Guinan, K.J., Sujeeth, N., Bragança, R., Gonçalves, B. 2021. Recent advances in the molecular effects of biostimulants in plants: An overview. Biomolecules, 11(8), 1096.

Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J.W. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. Plant and Soil, 383(1-2), 3-41.

Canellas, L. P., Olivares, F.L. 2014. Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. Chemical and Biological Technologies in Agriculture, 1(1), 1-11.

De Diego, N., Spíchal, L. 2022. Presence and future of plant phenotyping approaches in biostimulant research and development. Journal of Experimental Botany, 73(15), 5199-5212.

Du Jardin, P. 2012. The Science of Plant Biostimulants–A bibliographic analysis, Ad hoc study report.

Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. Scientia Horticulturae, 196, 3-14.

Eyheraguibel, B., Silvestre, J., Morard, P. 2008. Effects of humic substances derived from organic waste enhancement on the growth and mineral nutrition of maize. Bioresource Technology, 99(10), 4206-4212.

Fusco, G.M., Nicastro, R., Rouphael, Y., Carillo, P. 2022. The Effects of the microbial biostimulants approved by EU Regulation 2019/1009 on yield and quality of vegetable crops. Foods, 11(17), 2656.

Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., Yermiyahu, U. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. Advances in Agronomy, 130, 141-174.

Johnson, D., Gilbert, L. 2015. Interplant signalling through hyphal networks. New Phytol. 205, 1448-1453.

Kauffman, G.L., Kneivel, D.P., Watschke, T.L. 2007. Effects of a biostimulant on the heat tolerance associated with photosynthetic capacity, membrane thermostability, and polyphenol production of perennial ryegrass. Crop Science, 47(1), 261-267.

Martínez-Lorente, S.E., Martí-Guillén, J.M., Pedreño, M.Á., Almagro, L.,Sabater-Jara, A.B. 2024. Higher plant-derived biostimulants: mechanisms of action and their role in mitigating plant abiotic stress. Antioxidants, 13(3), 318.

Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., Sukalac, K. 2019. General principles to justify plant biostimulant claims. Frontiers in Plant Science, 10, 494.

Rose, M.T., Patti, A.F., Little, K.R., Brown, A.L., Jackson, W.R., Cavagnaro, T.R. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. Advances in Agronomy, 124, 37-89.

Rouphael, Y., Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. Frontiers in plant science, 11, 40.

Ruíz-Lozano, J.M. 2003. Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New Phytologist, 157(3), 399-416.

Shukla, P.S., Shotton, K., Norman, E., Neily, W., Critchley, A.T., Prithiviraj, B. 2019. Seaweed extract improve drought tolerance of soybean by regulating stress-responsive genes. AoB Plants, 11(4), plz008.

Simard, S.W., Beiler, K.J., Bingham, M.A., Deslippe, J.R., Philip, L.J., Teste, F.P. 2012. Mycorrhizal networks: mechanisms, ecology and modelling. Fungal Biology Reviews, 26, 39-60.

Smith, S.E., Read, D.J. 2008. Mycorrhizal Symbiosis (3rd ed.). Academic Press.

Van der Heijden, M.G.A., Van Der Streitwolf-engel, R., Riedl, R., Siegrist, S., Neudecker, A., Boller, T., Wiemken, A., Sanders, I.R. 2004. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland. New Phytologist, 172, 739-752.

Xu, L., Geelen, D. 2018. Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. Frontiers in Plant Science, 9, 1567.

Yakhin, O.I., Lubyanov, A.A., Yakhin, I.A., Brown, P. H. 2017. Biostimulants in plant science: A global perspective. Frontiers in Plant Science, 7, 2049.

Zhang, X., Ervin, E.H., Schmidt, R.E. 2003. Seaweed extract, humic acid, and propiconazole improve tall fescue sod heat tolerance and posttransplant quality. HortScience, 38(3), 440-443.

NAR (*Punica granatum* L.) MEYVELERİNDE GÖRÜLEN ÖNEMLİ FUNGAL HASTALIK ETMENLERİ VE ALTERNATİF MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Doç. Dr. Ahmet ÇAT
Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
ahmetcat@siirt.edu.tr – ORCID: 0000-0002-5638-0319
Mercan ALTUNBAŞ
Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi Bitki Koruma Bölümü
mercanaltunbas@gmail.com- ORCID: 0009-0007-1047-0937

ÖZET

Nar (*Punica granatum* L.), içerdiği zengin besin öğeleri ve sağlık üzerine olumlu etkileri sayesinde son yıllarda hem tüketici talebinde hem de dünya genelindeki üretim miktarında önemli bir artış göstermiştir. Ancak nar üretimi sırasında karşılaşılan fungal hastalıklar, özellikle meyve kalitesini ve verimini olumsuz yönde etkileyerek ciddi ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Üretim ve depolama süreçlerinde nar meyvelerinde sıkça görülen başlıca fungal etmenler arasında *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Botrytis cinerea*, *Penicillium* spp. ve *Coniella granati* yer almaktadır. Bu patojenler meyvede leke oluşumu, iç çürüklük ve yüzeysel çürüme gibi belirtilerle kendini göstermektedir. Belirtilen bu hastalıklarla mücadelede yaygın olarak fungisitler kullanılmakta olup, bunların hem çevre hem de insan sağlığı üzerine olumsuz etkiler yaratmaktadır. Ayrıca kimyasal ilaçlara karşı direnç gelişimi gibi problemlerde bu yöntemin etkinliğini azalttığından dolayı alternatif mücadele yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bahsedilen bu bilgiler doğrultusunda, bu çalışmada nar meyvesinde yaygın olarak görülen fungal hastalık etmenleri, bu hastalıkların meydana getirdiği fizyolojik değişimler ve yayılma koşulları detaylı şekilde ele alınmaktadır. Bunun yanı sıra, biyolojik ajanlar, bitkisel ekstraktlar, doğal bileşikler, mikrobiyal antagonistler ve kültürel uygulamalar gibi alternatif ve çevre dostu mücadele yöntemlerine ilişkin güncel araştırmalar incelenmektedir. Çalışma sonucunda, sürdürülebilir tarım uygulamaları çerçevesinde nar üretiminde fungal hastalıklarla etkili ve kalıcı mücadeleye yönelik çevre dostu çözüm önerilerinin ortaya konması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Nar, Fungal Patojenler, Alternatif mücadele.

MAJOR FUNGAL PATHOGENS AFFECTING POMEGRANATE (*Punica granatum*

L.) FRUITS AND ALTERNATIVE CONTROL STRATEGIES

ABSTRACT

Pomegranate (*Punica granatum* L.) has experienced a significant increase in both global production and consumer demand in recent years due to its rich nutritional content and positive effects on human health. However, fungal diseases encountered during cultivation pose serious threats to fruit quality and yield, leading to considerable economic losses. Among the major fungal pathogens commonly observed in pomegranate fruits during production and storage are *Alternaria* spp., *Aspergillus* spp., *Botrytis cinerea*, *Penicillium* spp., and *Coniella granati*. These pathogens cause symptoms such as surface lesions, internal decay, and rot. Although chemical fungicides are widely used to control these diseases, they raise concerns due to their adverse effects on human health and the environment. Moreover, the development of resistance to chemical treatments has further reduced their effectiveness, highlighting the need for alternative control strategies. In this context, the present study comprehensively addresses the major fungal pathogens affecting pomegranate fruits, their associated physiological effects, and the environmental conditions that favor disease development. Additionally, recent research on alternative and environmentally friendly approaches including biological agents, plant extracts, natural compounds, microbial antagonists, and cultural practices are evaluated. The aim of this study is to propose sustainable and eco-friendly solutions for effective and long-term management of fungal diseases in pomegranate cultivation within the framework of sustainable agricultural practices.

Keywords: Pomegranate, Fungal Pathogens, Alternative Control Strategies.

1.GİRİŞ

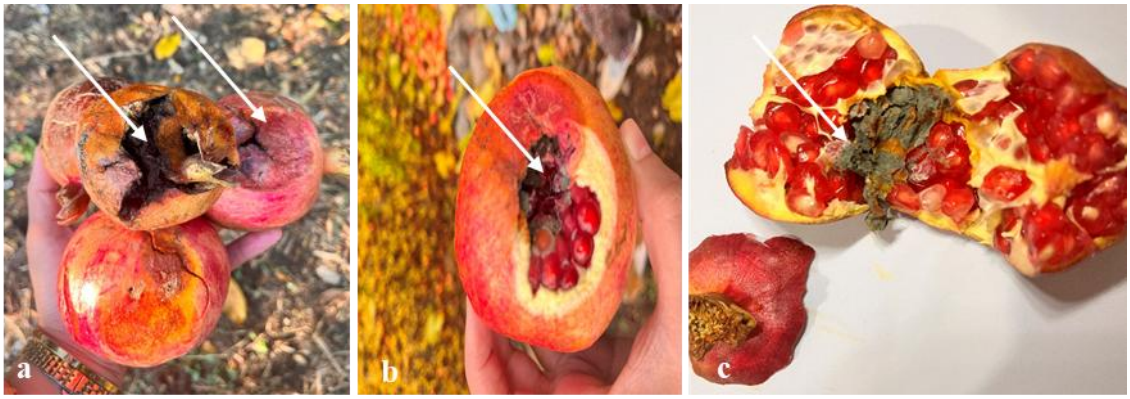
Nar (*Punica granatum* L.), iklim koşullarına bağlı olarak farklı büyüme formları gösterebilen bir meyve türüdür. Ilıman ve subtropik iklim bölgelerinde yaprağını dökerken, tropik iklim koşullarında her dem yeşil olarak gelişim gösterebilir (Yılmaz ve ark., 1993). Nar, yüksek C vitamini, demir ve potasyum içeriğiyle dikkat çeker. Taze tüketiminin yanı sıra; tanen, pektin, sirke, boya ve mürekkep hammaddeleri, bitkisel yağlar, hayvan yemi ve farmasötik hammaddeler gibi birçok yan ürün elde edilebilir (İkinci, 2007). Yaprak, çiçek, kök ve gövde kabuğundan elde edilen bileşikler, geleneksel ve modern tıpta kullanılmaktadır (De Nigris ve ark., 2007). Ayrıca nar; Alzheimer, diyabet, kanser ve iltihap gibi kronik hastalıklara karşı koruyucu etkiye sahiptir (Garcia-Pastor ve ark., 2020).

Türkiye'de nar üretimi giderek artmakta ve sırasıyla Akdeniz, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri ön plana çıkmaktadır (Eroğlu ve ark., 2017). Güneydoğu'da özellikle Şanlıurfa, Adıyaman, Diyarbakır ve Siirt illerinde nar plantasyonları hızla gelişmiştir. Siirt'in Şirvan ve Pervari ilçelerinde yetiştirilen Zivzik Narı, hem sofralık hem de sanayi tipi olarak değerli bir çeşittir. Mayhoş tadı, iri ve sulu daneleri ile öne çıkar. Kontrollü atmosfer koşullarında 6 aya

kadar muhafaza edilebilir. 2008 yılında tescillenen bu çeşit, iç ve dış piyasada talep görmektedir (Taş ve ark., 2016; Aydın ve ark., 2017).

Nar üretimindeki artışla birlikte, fungal hastalıklar da ciddi sorunlara yol açmaktadır. Meyve ve ağaçlarda en sık görülen patojenler şunlardır: *Botrytis cinerea, Alternaria alternata, Aspergillus niger, Penicillium* spp. ve *Coniella granati* dir (Munhuweyi ve ark., 2016). Enfekte bitkilerde solma, bodur büyüme, geriye ölüm, lekelenmeler ve meyve çürümeleri gibi belirtiler gözlenir (Pala ve ark., 2009; Çeliker ve ark., 2012).

Hastalıkların yayılmasında özellikle önceki üretim periyodundan kalan enfekteli bitki artıkları, çeşitli sebeplerden dolayı oluşan yara dokuları ve farklı abiyotik stres faktörleri etkilidir (Jadhav ve ark., 2011). Ülkemizde nar yetiştiriciliğinin hızla yaygınlaşmasıyla birlikte, bitki koruma ile ilgili birtakım sorunlar da ön plana çıkmıştır. Nar bitkisinde verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen biyotik etmenlerin neden olduğu bazı fungal hastalıklar mevcuttur. Bu hastalıkların etmenleri (patojenler) arasında *Botrytis cinerea* (gri küf çürüklüğü), *Alternaria alternata* (kahverengi leke), *Aspergillus niger* (Aspergillus meyve çürüklüğü), *Penicillium* spp. (mavi/yeşil küf çürüklüğü) ve *Coniella granati* (gövde kanseri ve meyve çürüklüğü) gibi önemli fungal türler yer almaktadır. Bu bahsedilen hastalık etmenlerinden *Coniella granati* dışındaki hastalık etmenlerinin nar meyvelerinde oluşturduğu belirtiler Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Zivzik nar meyvelerinde çürümelere neden olan farklı fungal hastalık etmenlerine ait görseller. *Aspergillus* spp. ve *Alternaria* spp. (a), *Botrytis* spp. (b) ve *Penicillium* spp. (c).

Nar meyvelerindeki bozulmalar genellikle; yüzey çürümeleri, buruşmalar, renk değişiklikleri, lekeler ve lezyonlar gibi istenmeyen kozmetik deformasyonlar şeklinde kendini göstermektedir. Etkilenen bölgelerde küflenme oluşmakta ve bu küflerin rengi, enfeksiyona sebep olan patojenin türüne göre farklılık göstermektedir (Pala ve ark., 2009). Bu tür hastalıklı meyveler, raf ömrünün kısalmasına ve düşük kaliteye sahip ürünlerin oluşmasına neden olmasının yanı sıra meyvelerde aroma kayıplarına neden olduğu bildirmiştir (Kader, 2008). Etkilenen meyvelerin detaylı incelenmesinde, zaman zaman taç çürüklüğü semptomları ve kaliks (taç yaprağı) bölgesinde içsel hasarların görülebildiği belirlenmiştir (Pala ve ark., 2009). Bu nedenle, hastalık semptomlarının doğru tanımlanması ve hızlı bir şekilde teşhis edilmesi; hastalıkların etkili biçimde kontrol edilmesi ve yönetilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Hastalık inokulumu; genellikle

toprakta bulunan önceden enfekte olmuş bitki artıkları, yabancı otlar, hasat sonu kalan enfekteli meyvelerden kaynaklanmaktadır (Jadhav ve ark., 2011). Ülkemiz ve dünyada nar ile ilgili yürütülen çeşitli çalışmalar bulunmakta ancak bunlar halen istenilen düzeyde değildir. Nar üretim alanlarında fungal enfeksiyonlar hem bahçelerde hem de depolarda büyük ürün kayıplarına yol açtığı belirtilmiştir (Yıldız ve ark., 2018).

Meyve enfeksiyonlarına neden olan hastalık etmenlerini tespit etmek amacıyla yapılan az sayıdaki çalışmalarda bile birçok fungal türün varlığı saptanmıştır. Son yıllarda Yunanistan'da yapılan çalışmalarda, *A. alternata*'nın nar meyvelerinde %40-50 oranında enfeksiyona neden olduğu, *C. granati*'nin ise depolama sırasında nar meyvelerinde %50'ye varan kayıplara yol açtığı bildirilmiştir (Tziros ve ark., 2007). Meyve enfeksiyonları, tüm üretim alanlarında meydana gelerek ciddi ürün kayıplarına neden olabilmektedir. Bununla birlikte, hasat sonrası dönemde de %10-25 oranında hastalık kaynaklı ürün kayıplarının yaygın olarak görüldüğü belirlenmiştir (Palou ve ark., 2013; Thomidis, 2014). Genel olarak nar meyvesinde hasat sonrası dönemde yaygın olarak görülen patojenler arasında *B. cinerea, A. alternata, Penicillium implicatum, C. granati* ve *A. niger* yer almaktadır (Munhuweyi ve Lennox, 2016).

2. Alternatif Mücadele Yöntemleri

2.1. Bitkisel Ekstraktlar

Çeşitli bitki hastalıklarına karşı bitkisel kökenli ürünler antogonistik etki göstermektedir (Barman ve ark., 2016). Özellikle fenolik bileşikler ve flavonoidler açısından zengin olmasından dolayı, patojenlerin hücre duvarını zayıflatarak etkisiz hale getirebilir. Bu ürünler çevre dostu, toksik olmayan ve sürdürülebilir tarım uygulamaları açısından önemli bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Yine, antifungal ve antibakteriyel aktivite ile bitki savunma sistemini uyarıcı gibi çeşitli özellikleri nedeniyle bitki hastalıkları ile mücadelede alternatif olarak son yıllarda kullanılmkatadır. Belirtilen bu özelliklelrinden dolayı bu ürünlere yönelik talep her geçen gün artmaktadır. Bununla ilgili olarak; çeşitli çalışmalar yürütülmüş ve yürütülmeye devam etmektedir. Kadam ve ark. (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada Nar'da görülen *Alternaria alternata* hastalığına karşı 11 bitkisel ekstrakt in vitro koşullarda test edilmiştir. Test edilen ekstraktlar arasında, en yüksek ortalama miselyal gelişim inhibisyonu sarımsak ile %75.56 olarak kaydedilmiş; bunu zencefil %73.64 ve nane %71.17 ile takip etmiştir.

2.2. Mikrobiyal Ajanlar

Sürdürülebilir tarım açısından mikroorganizma uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Bu teknik hem hastalık etmenlerine hem de diğer bitki gelişiminin artmasına, besin elementlerine ulaşım ve meyve gelişimi gibi birçok parametre üzerinde olumlu katkı sağlamaktadır. Çeşitli bakteri ve fungal biyokontrol etmenleri test edilmiş ancak bunlarının sadece bazılarının etkili oldukları saptanmıştır (Chavan ve ark., 2016). Yine, Hindistan'da nar yetiştiriciliğinde önemli ve verim kayıpşlarına neden olan *Alternaria alternata* hastalığına karşı yedi fungal ve iki bakteriyel ajan in vitro koşullarda test edilmiştir. Bu çalışmada mikrobiyal etmenlerin patojen gelişimini büyük oranda engellediği ve *Trichoderma viride*, test edilen patojene karşı %86.85 oranı ile en yüksek miselyal gelişim inhibisyonunu göstermiş; bunu sırasıyla *T. hamatum* (%82.04) ve *Aspergillus niger* (%81.11) takip ettiği ve bakteriyel ajanlar *Pseudomonas fluorescens* and

*Bacillus subtilis'*in misel gelişimini engelleme üzerine etkisinin az olduğu rapor edilmiştir (Kadam ve ark., 2018). Farklı bitkilerde yürütülen birçok çalışmada benzer şekilde fungal ajanların (*T. harzianum, T. viride, T. koningii* ve *T. hamatum*'un *A. alternata*'nın gelişimini engellediği bildirilmiştir (Rajput ve ark., 2011; Apet ve ark., 2014). Yine farklı *Alternaria* spp. ile mücadelede farklı *Trichoderma* spp. kullanılabileceği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir (Charpe ve ark., 2014; Gholve ve ark., 2014). Bu konuda yürütülen çalışmalar sınırlı olmakla birlikte daha çok farklı uygulamalar ile birlikte kombine edilerek mücadelede kullanılmaktadırlar (Capozzi ve ark., 2009; Siddiqui ve ark., 2011; Mutawila ve ark., 2015).

2.3. Doğal Bileşikler

Hasat sonrası hastalıklar ile mücadelede doğal bileşiklerden elde edilen uçucu yağların in vitro koşullarda özellikle fungal hastalık etmenlerine karşı etkili olduğu belirtilmiştir (Tzortzakis ve Economakis, 2007). Son yıllarda doğal bileşikler kullanılarak elde edilen uçucu ağların etkinliği farklı bitki patojenlerine karşı test edilmektedir. Bu çalışmalardan birinde, *Botrytis cinerea* ve *Penicillium* spp. türlerine karşı limon otu, kekik ve mercanköşk uçucu yağlarının etkinliği test edilmiştir. Çalışma sonucunda limon otu yağı, test edilen mevcut patojenlere karşı en geniş engelleme oranına sahip olduğu bildirilmiştir (Kawhena ve ark., 2021). Başka bir çalışmada ise, okaliptüs, galbanum, kekik ve karanfil uçucu yağlarının *Aspergillus niger* üzerindeki engelleyici etkileri, hem in vitro hem de in vivo olarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara incelendiğinde; in vitro sonuçlara göre, karanfil yağı 200, 400, 600 ve 800 µL/L konsantrasyonlarında hem 1. hem de 10. günde *A. niger* gelişimini tamamen engellemiş olup, kekik yağı da 800 µL/L konsantrasyonunda 10. günde tamamen engellemiştir. İn vivo bulgulara göre ise, 800 µL/L konsantrasyonunda kekik yağı ile muamele edilen meyveler, okaliptüs, galbanum ve karanfil yağlarıyla muamele edilenlere kıyasla en düşük ağırlık kaybını göstermiştir. Aynı zamanda, kekik yağı ile işlem gören meyveler en yüksek sertlik değerine sahip olmuştur (Jahani ve ark., 2020).

2.4. Kültürel Uygulamalar ve Entegre Yaklaşımlar

Kültürel uygulamalar; uygun çevre koşuluğu sağlayarak hastalık etmenlerinin yoğunluğunu azaltmak için tercih edilen kimyasal olmayan yöntemlerdir. Özellikle nar bahçelerinde drenajın iyi olması ve hava sirkülasyonun sağlanması önemlidir (Wohlfarter ve ark., 2010). Yine sulama, gübreleme ve uygun toprak özellikleri optimum koşullarda sağlanmalıdır. Bunlarda meyve üzerinde olumsuz etkilere sahiptirler. Öte yandan, bahçenin nem durumu ve yapılan veya diğer farklı sebeplerden dolayı ağaçların herhangibir şekilde zarar görmesi hastalığa neden olmaktadır (Jadhav ve Sharma, 2011). Sadece tek bir uygulama değil farklı yöntemlerin örneğin dayanıklı genotiplerin seçimi, ısı uygulamaları, paketleme ve depolama koşulları gibi diğer tekniklerde kullanılması belirtilen hastalık etmenlerine karşı mücadeleye büyük katkı sağlayacaktır.

3. SONUÇ

Nar'da hasat öncesi ve hasat sonrası dönemde çeşitli fungal hastalık etmenleri rapor edilmiştir. Bu çalışmada, nar meyvelerinde görülen önemli fungal hastalık etmenleri ve bunlara karşı mücadelede kullanılan alternatif yöntemlerin ele alındığı araştırmalar değerlendirilmiştir. Son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, söz konusu hastalık etmenlerine karşı kullanılan kimyasal fungisitlerin yerine geçebilecek pek çok alternatif kontrol yöntemi geliştirildiği görülmektedir. Bu uygulamaların bazıları yalnızca in vitro koşullarda gerçekleştirilmişken, bazıları ise hem in vitro hem de in vivo koşullarda test edilmiştir. Sonuç olarak mevcut çalışmalardan elde edilen bulguların, hastalık etmenlerinin yaşam döngüsüde dikkate alınarak farklı aşamalarda uygulanan yöntemlerin, mücadelede istenilen düzeyde başarı sağlayabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, küresel iklim değişikliğinin mevcut mücadele stratejilerini etkileyebileceği göz önünde bulundurulduğunda, bu hastalık etmenlere karşı yeni ve sürdürülebilir alternatif yöntemlerin geliştirilmesi ve dayanıklı nar genotiplerin ortaya çıkarılması büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKÇA

Apet, K.T., Jagdale, J.S., Mirza, F.N., Chavan, P.G., More, A.S. 2014. In vitro evaluation of fungicides, botanicals and bioagents against *A. alternata*, causing leaf spot of Gerbera. Trends in Biosciences, 7(21), 3374-3382.

Aydın, Y., Mikail, N., Pakyürek, M., Saltuk, B., Seven M. 2017. Water-yield relationship of Zivzik pomegranate under deficit ırrigation conditions. Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering, 5, 81-86.

Barman, H., Roy, A., Das, S.K., Singh, N.U., Dangi, D.K. Dahun., Tripathi, A.K. 2016. Antifungal properties of some selected plant extracts against leaf blight (*Alternaria alternata*) in tomato. Research on Crops, 17(1), 151-156.

Charpe, A.M., Bhoye, B.B., Gade, R.M. (2014). Fungistasis of Trichoderma culture filtrates against *Alternaria lini*, causing bud blight of linseed. Journal of Plant Disease Sciences, 9(1), 86-90.

Çeliker, M., Uysal, A., Çetinel, B., Poyraz, D. 2012. Crown rot on pomegranate caused by *Coniella granati* in Turkey. Australasian Plant Disease Notes, 7, 161-162.

De Nigris, F., Williams-Ignarro, S., Sica, V., Lerman, L.O., D'Armiento, F.P., Byrns, R.E., Fiorito, C. 2007. Effects of a pomegranate fruit extract rich in punicalagin on oxidation-sensitive genes and eNOS activity at sites of perturbed shear stress and atherogenesis. Cardiovascular Research, 73(2), 414-423.

Eroğlu D., Oğuz. H.İ., Şen F. 2017. Ekşi, mayhoş ve tatlı nar genotiplerine ait meyvelerin muhafaza süresince bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. Meyve Bilimi Dergisi, 1(Özel), 34-39.

Garcia-Pastor, M.E., Serrano, M., Guillen, F., Gimenez, M.J., Martinez-Romero, D., Valero, D., Zapata, P.J. 2020. Preharvest application of methyl jasmonate increases crop yield, fruit quality and bioactive compounds in pomegranate 'Mollar de Elche' at harvest and during postharvest storage. Journal of the Science of Food and Agriculture, 100(1), 145-153.

Gholve, V.M., Jogdand, S.M., Suryawanshi, A.P. 2014. Evaluation of fungicides, botanicals and bioagents against Alternaria leaf blight caused by *Alternaria macrospora* in cotton. J. Cotton Res. Dev. 28(2), 327-331.

İkinci, A. 2007. Nar Yetiştiriciliği. Tarım Türk Dergisi, (7), 12-16.

Jadhav, V.T., Sharma, K.K. 2011. Integrated management of diseases in pomegranate. Acta Horticulture, 890, 467-474.

Jahani, M., Pira, M., Aminifard, M.H. 2020. Antifungal effects of essential oils against Aspergillus niger in vitro and in vivo on pomegranate (*Punica granatum*) fruits. Scientia Horticulturae, 264, 109188.

Kadam, V.A., Dhutraj, D.N., Pawar, D.V., Patil, D.D. 2018. Bio efficacy of bio agents and botanicals against *Alternaria alternata* (Fr.) Keissler causing leaf spot of pomegranate. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 7, 1146-1155.

Kader, A.A. 2008. Flavor quality of fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture, 88, 1863-1868.

Kawhena, T.G., Opara, U. L., Fawole, O.A. 2021. A comparative study of antimicrobial and antioxidant activities of plant essential oils and extracts as candidate ingredients for edible coatings to control decay in 'Wonderful'pomegranate. Molecules, 26(11), 3367.

Munhuweyi, K., Lennox, C. L., Meitz-Hopkins, J. C., Caleb, O. J., Opara, U. L. 2016. Major diseases of pomegranate (*Punica granatum* L.), their causes and management-A review. Scientia Horticulturae, 211, 126-139.

Pala, H., Tatli, A., Yilmaz, C., Özgüven, A.I. 2009. Important diseases of pomegranate fruit and control possibilities in Turkey. Acta Horticulture, 818, 285-290.

Rajput, R. B., Solanky, K.U., Kavyashree, M.C. 2013. Effect of fungal and bacterial bioagents against *A. alternata* (Fr.) Keissler invitro condition. The Bioscan, 8(2), 627-629.

Taş, L., Boz, İ., Akbay, C. 2016. Siirt ili Şirvan ilçesinde organik Zivzik narının benimsenmesi ve yayılması. XII. Ulusal Tarım Ekonomisi Kongresi 25-27 Mayıs, Siirt. 1127-1136.

Thomidis, T. 2014. Fruit rots of pomegranate (cv. wonderful) in Greece. Plant Pathology, 43, 583-588.

Tziros, G.T., Lagopodi, A.L., Tzavella-Klonari, K. 2007. *Alternaria alternata* fruit rot of pomegranate (*Punica granatum*) in Greece. Disease Reports, 15, 14.

Wohlfarter, M., Giliomee, J.H., Venter, E. 2010. A survey of the arthropod pests associated with commercial pomegranates, *Punica granatum* (Lythraceae), in South Africa. Africian Entomolology, 18, 192-199.

Yıldız, A., Benlioğlu, S., Benlioğlu, K., Başpınar, N., Çaçamer, A., Özyılmaz, Ü. 2018. Aydın ilinde nar plantasyonlarında görülen hastalıklar ve yaygınlık durumları. The Journal of Turkish Phytopathology, 47(1), 11-20.

Yılmaz, M., Özgüven, A.I.., Ak, B.E., Çetiner, S., 1993. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde değişik nar çeşitlerinin adaptasyonu. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Genel Yayın No: 57.

ISI ADALARI VE KENT TARIMI: KENTSEL ALANLARDA SÜRDÜRÜLEBİLİR SEBZE YETİŞTİRİCİLİĞİ

Doç. Dr. Sevinç BAŞAY

Bursa Uludağ Üniversitesi/Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü

sevincbasay@uludag.edu.tr – ORCID: 0000-0001-6789-4473

ÖZET

Küresel iklim değişikliği ve hızlı kentleşme süreci, kentlerdeki çevresel sorunları daha da derinleştirmekte ve özellikle "ısı adası" etkisi, şehir yaşamını hem çevresel hem de sosyal açıdan olumsuz etkilemektedir. Bu etki; artan beton yüzeyler, azalan yeşil alanlar ve yoğun enerji kullanımı nedeniyle şehir merkezlerinde sıcaklıkların kırsal alanlara kıyasla belirgin şekilde artmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda, kentsel tarım uygulamaları –özellikle sebze yetiştiriciliği– ısı adası etkisinin azaltılmasında sürdürülebilir ve uygulanabilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır. Kentsel sebze bahçeleri, evapotranspirasyon yoluyla çevrede serinletici bir etki yaratmakta; yüzey sıcaklıklarını düşürmekte ve mikroklimayı olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca bu bahçeler, karbon ayak izini azaltmakta, yerel gıda üretimini desteklemekte ve kentteki gıda güvenliğine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, kent tarımı sosyal etkileşimi artırmakta, halk sağlığını desteklemekte ve çevresel farkındalık oluşturmaktadır. Bu çalışmada, literatüre dayalı olarak kentsel sebze yetiştiriciliğinin ısı adası etkisini hafifletmedeki rolü çok boyutlu olarak incelenmekte, sürdürülebilir şehir politikaları açısından potansiyeli değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, kent tarımı, iklim krizine karşı dirençli, sağlıklı ve yaşanabilir şehirler inşa etmede önemli bir araç olarak görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Isı adası, Kent tarımı, Evapotranspirasyon, Gıda güvenliği, Mikroiklim

1- GİRİŞ

Günümüz şehirleri, küresel iklim değişikliği ve hızlı kentleşme ile şekillenen çevresel sorunlarla mücadele etmektedir. Bu sorunların başında, şehirlerin çevresine göre daha sıcak olan ve insan sağlığı ile enerji tüketimini olumsuz yönde etkileyen kentsel ısı adası (Urban Heat Island - UHI) etkisi gelmektedir. Kentleşme, yoğun yapılaşma ve yeşil alanların azalması, şehirlerde daha yüksek sıcaklıkların oluşmasına yol açmakta, bu da enerji ihtiyacını artırmakta ve özellikle yaz aylarında aşırı sıcak dalgalarına neden olmaktadır **[1]**. UHI etkisinin şiddeti, şehirlerin çevresindeki kırsal alanlarla kıyaslandığında, artan betonlaşma ve asfalt yüzeylerin ısınması sonucu belirginleşmektedir **[2]**. Bu durum, enerji tüketimi, hava kalitesi ve halk sağlığı açısından ciddi sonuçlar doğurmaktadır **[3]**.

Birçok çözüm önerisi arasında, kent tarımı uygulamaları özellikle kentsel ısı adası etkisini azaltmada umut verici bir strateji olarak öne çıkmaktadır. Kentsel tarım, şehirlerin çeşitli alanlarında sebze, meyve ve diğer bitkilerin yetiştirilmesi ile hem gıda güvenliğini artırmakta hem de çevresel faydalar sağlamaktadır. Sebze bahçeleri ve yeşil alanlar, özellikle evapotranspirasyon yoluyla serinletici bir etki yaratmakta ve şehirdeki mikroklimayı iyileştirmektedir **[4,5]**. Yapılan çalışmalar, kentsel tarımın özellikle yeşil çatıların ve topluluk bahçelerinin kentsel sıcaklıkları 0.5°C ile 4.0°C arasında düşürebileceğini göstermektedir **[4]**.

Kentsel tarım uygulamalarında yer alan sebze yetiştiriciliği, evapotranspirasyon sayesinde çevreye serinlik sağlar ve bu mekanizmalar, kentsel ısı adası etkisini hafifletmenin yanı sıra, su döngüsüne de katkı sağlar **[6].** Kentsel alanlarda yapılan araştırmalar, sebze bahçelerinin ısı adası etkisini hafifleten önemli mekanizmalar oluşturduğunu ve bu uygulamaların şehirlerdeki yüzey sıcaklıklarını, özellikle yaz aylarında, önemli ölçüde düşürebileceğini göstermektedir **[7]**. Bu etki, şehirdeki enerji tüketimini ve hava kirliliğini azaltmakta, aynı zamanda sürdürülebilir bir çevre yaratılmasına katkı sağlamaktadır.

Araştırmalar, kentsel sebze bahçelerinin çevresel faydalarının ötesinde toplumsal faydalar sunduğunu da ortaya koymaktadır. Toplumları bir araya getiren bu yeşil alanlar, sosyal etkileşimi artırmakta, yerel halkın çevre bilincini yükseltmekte ve sağlıklı yaşam tarzlarını teşvik etmektedir **[8]**. Ayrıca, kent tarımı, yerel gıda üretiminin artırılmasıyla gıda güvenliğini güçlendirebilir, yerel ekonomik kalkınmayı teşvik edebilir ve gıda tedarik zincirini daha dayanıklı hale getirebilir **[9]**.

Kentlerdeki sıcaklık artışını hafifletmek için yapılan diğer yeşil alan müdahaleleri arasında yeşil çatılar ve topluluk bahçeleri de önemli yer tutmaktadır. Yeşil çatılar, şehirdeki binaların üzerini bitkilerle kaplayarak hem binayı serinletmekte hem de çevresel etkileri azaltmaktadır **[10]**. Bununla birlikte, kentsel tarım uygulamalarının, sosyal dayanıklılığı artırma ve kentsel çevreyi iyileştirme konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğu vurgulanmaktadır **[11]**.

Sonuç olarak, kentsel tarım ve özellikle sebze yetiştiriciliği, ısı adası etkisini azaltma ve sürdürülebilir şehirler inşa etme yolunda önemli bir araç olarak görülmektedir. Kent tarımının çevresel, sosyal ve ekonomik faydaları, bu uygulamaların şehir planlaması ve politika geliştirilmesinde dikkate alınması gereken önemli stratejiler olduğunu göstermektedir.

2- ISI ADASI ETKİSİ VE KENTLEŞME SÜRECİNİN ÇEVRESEL SONUÇLARI

Kentsel ısı adası (Urban Heat Island - UHI) etkisi, şehirlerin çevresine göre daha sıcak olması durumunu ifade eder. Bu fenomen, özellikle şehirlerin yoğun yapılarla kaplanması ve doğal yeşil alanların azalması sonucu ortaya çıkar. Kentleşme süreci, genellikle beton, asfalt ve diğer ısıyı tutan malzemelerin artmasına neden olur, bu da şehirlerin daha yüksek sıcaklıklara ulaşmasına yol açar. UHI etkisi, çevre ve toplum üzerinde çeşitli olumsuz sonuçlar doğurur; bu sonuçlar enerji tüketiminden halk sağlığına kadar geniş bir yelpazeye yayılmaktadır.

Isı adası etkisinin en belirgin nedenlerinden biri, şehirlerin çoğunun doğal yüzeyler yerine impervious (geçirimsiz) yüzeylerle kaplanmış olmasıdır. Bu durum, yağmur suyunun emilmesini engeller ve bu suların yüzeyde birikmesine, dolayısıyla daha fazla ısının tutulmasına yol açar **[12]**. Beton ve asfalt gibi malzemeler, güneş ışığını emerek ısınır ve bu ısıyı gece boyunca çevreye geri salar. Bu, şehirlerin sıcaklıklarını kırsal alanlara kıyasla belirgin şekilde artırır **[7]**.

Kentleşme ile birlikte artan ısınma, özellikle yaz aylarında enerji talebini artırır. Sıcaklıkların yükselmesi, soğutma sistemlerine olan bağımlılığı artırarak enerji tüketimini yükseltir. Bu durum, yalnızca enerji faturalarını artırmakla kalmaz, aynı zamanda hava kirliliğinin de artmasına neden olur, çünkü enerji üretimi genellikle fosil yakıtlarla yapılmaktadır **[3]**. Ayrıca, artan sıcaklıklar, özellikle yaşlılar ve çocuklar gibi savunmasız gruplar için sağlık risklerini de artırır. Yüksek sıcaklıklar, sıcak çarpması, kalp hastalıkları ve solunum yolu problemleri gibi sağlık sorunlarını tetikleyebilir **[1]**.

Kentleşmenin çevresel etkileri sadece ısı adası etkisiyle sınırlı değildir. Artan yapılaşma, biyolojik çeşitliliği tehdit etmekte ve doğal habitatların yok olmasına yol açmaktadır. Bu durum, ekosistemlerin dengesini bozarak, suyun doğal döngüsünü ve hava kalitesini olumsuz yönde etkiler **[4]**. Kentlerdeki yeşil alanlar, sadece estetik değil, aynı zamanda çevresel dengeyi korumak için kritik öneme sahiptir. Ancak kentleşme ile birlikte bu yeşil alanların azalması, doğal dengeyi daha da zorlaştırmaktadır.

Kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, kent planlamasında yeşil alanların arttırılması ve enerji verimliliği uygulamalarının yaygınlaştırılması ile mümkündür. Bu bağlamda, kentsel tarım ve yeşil altyapı projeleri, ısı adası etkisinin hafifletilmesinde önemli bir rol oynamaktadır **[1]**.

3- EVAPOTRANSPİRASYON VE KENTSEL TARIMIN MİKROİKLİM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Evapotranspirasyon (ET), bitkilerin suyu köklerinden alarak atmosfere buharlaştırması sürecini ifade eder ve bu süreç, kentsel mikroiklim üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu etki, özellikle yoğun kentsel alanlarda, ısı adası etkisinin (UHI) azaltılmasında önemli bir rol oynar. Kentsel tarım, sebze yetiştiriciliği ve yeşil alanlar gibi unsurlar sayesinde, evapotranspirasyon yoluyla yerel sıcaklıkları düşürebilir, böylece şehirlerin sıcaklık dengesi sağlanabilir.

Birçok araştırma, kentsel tarım uygulamalarının, özellikle yeşil alanların ve sulama tekniklerinin, şehirlerdeki ısı adası etkisini önemli ölçüde hafifletebileceğini göstermektedir. Qiu ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, kentsel tarımın ve yeşil alanların evapotranspirasyon yoluyla şehir sıcaklıklarını 0.5°C ile 4°C arasında düşürebileceğini belirtmişlerdir. Aynı çalışmada, yeşil çatılar ve su yüzeylerinin de sıcaklıkları önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olduğu vurgulanmıştır **[4]**. Yeşil alanlar, sadece bitkilerin su buharlaştırması yoluyla değil, aynı zamanda fiziksel gölgeleme sağlayarak da mikroklimayı iyileştirir **[12]**.

Kentsel tarım ve yeşil altyapı uygulamaları, evapotranspirasyonun şehre sağladığı soğutma etkilerini artıran önemli stratejilerdir. Rocha ve arkadaşları (2022) **[7]**, kentsel yeşil alanlar ve sulama altyapısının, şehirlerin mikroiklimini iyileştirerek, ısı adası etkisini nasıl hafiflettiğini araştırmış ve kentsel çevrede evapotranspirasyonun önemli bir soğutma hizmeti sunduğunu vurgulamışlardır. Özellikle şehirlere ait yüksek çözünürlüklü verilerle yapılan analizlerde, yüksek evapotranspirasyon oranlarının, düşük yeşil alanlı şehirlerle karşılaştırıldığında, daha fazla soğutma sağladığı ortaya konmuştur. Bununla birlikte, kentsel tarım uygulamalarında kullanılan bitki türleri ve sulama yöntemlerinin de etkisi büyüktür. Wang ve arkadaşlarının (2020) **[8]** yaptığı çalışmada, Xuzhou, Çin örneğinde, evapotranspirasyonun yerel yüzey sıcaklıkları üzerinde önemli etkiler yarattığı ve şehirdeki yeşil alanların daha fazla evapotranspirasyon sağladığında, kentsel ısı adası etkisini azalttığı gösterilmiştir. Bu çalışma, şehirlere ait yeşil alanların, sulama ve bitki seçimi gibi faktörlerle güçlendirilerek, kentsel çevreyi iyileştirme ve iklimsel zorlukları azaltma konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Evapotranspirasyonun etkisi yalnızca doğrudan soğutma sağlamaz, aynı zamanda mikroklimayı düzenler. Yeşil alanlar ve tarım uygulamaları, hava kalitesini artırarak, ısı adası etkisini azaltmanın yanı sıra, yerel gıda üretimini artırmak ve karbon salınımını düşürmek gibi ek faydalar da sağlar **[13]**. Ayrıca, kentsel ağaçlar ve bitkiler, yalnızca sıcaklıkları düşürmekle

kalmaz, aynı zamanda su buharlaştırarak, yerel nem seviyelerini iyileştirir, bu da insanların yaşam kalitesini doğrudan etkiler **[14]**.

Sonuç olarak, kentsel tarım uygulamaları ve evapotranspirasyon süreci, kentsel ısı adası etkisini hafifletmek için etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Kentlerde yeşil alanların arttırılması, su buharlaştırma sürecini iyileştirerek sıcaklıkları düşürmeye yardımcı olur, bu da sürdürülebilir şehirler yaratma yolunda önemli bir adım sağlar.

4- KENTSEL TARIMIN SÜRDÜRÜLEBİLİR ŞEHİR POLİTİKALARINDAKİ YERİ VE POTANSİYELİ

Kentsel tarım, şehirlerde gıda üretiminin artması, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve sosyal refahın artırılması gibi birçok avantaj sunduğu için günümüzde sürdürülebilir şehir politikalarında önemli bir araç haline gelmiştir. Kentlerde hızla artan nüfus ve gıda talepleri, şehirlerin daha sürdürülebilir hale gelmesi için kentsel tarımı çözüm olarak ortaya koymaktadır. Kentsel tarım, sadece gıda üretimini değil, aynı zamanda iklim değişikliği ile mücadele, enerji verimliliği ve yerel ekonomilerin güçlendirilmesi gibi bir dizi stratejik hedefi de desteklemektedir **[15]**.

Kentsel tarım, özellikle yeşil alanların artırılması, atıkların geri dönüştürülmesi ve ekosistem hizmetlerinin iyileştirilmesi açısından büyük bir potansiyele sahiptir. Yapılan araştırmalar, kentsel tarımın çevresel sürdürülebilirliğe olan katkılarını net bir şekilde ortaya koymuştur. Örneğin, kentsel tarım uygulamaları, sera gazı emisyonlarını azaltma, su yönetimini iyileştirme ve biyolojik çeşitliliği artırma gibi çevresel faydalar sağlamaktadır **[16]**. Ayrıca, bu uygulamalar, ısı adası etkisini azaltarak şehirlerin mikroiklimlerini iyileştirmekte, aynı zamanda yerel gıda üretimini artırarak gıda güvenliğine de katkı sunmaktadır **[17]**.

Ancak, kentsel tarımın potansiyelinden tam anlamıyla faydalanabilmesi için güçlü bir politika desteği gereklidir. Kentsel tarım uygulamaları, şehir planlamasında yer almalı, arazi kullanımında öncelikli alanlar yaratılmalı ve toplumun tarıma olan yaklaşımı iyileştirilmelidir **[18]**. Kentsel tarımın uygulanabilirliğini artırmak için, yerel yönetimler ve politikacılar tarafından tarımın şehir planlamasına entegre edilmesi ve yeşil altyapıların güçlendirilmesi önemlidir **[19]**.

Bununla birlikte, kentsel tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, ekonomik kalkınmaya da önemli katkılar sağlamaktadır. Kentsel tarım, yerel iş gücünü desteklerken aynı zamanda gıda üretiminin ekonomiye olan etkisini artırmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, kentsel

tarım, yerel ekonomilerin yeniden yapılandırılmasına ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşılmasına yardımcı olabilir **[20]**. Bununla birlikte, ekonomik zorluklar, yerel tarım ürünlerine olan talep ve altyapı eksiklikleri gibi engellerin aşılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, kentsel tarım, sürdürülebilir şehir politikalarının önemli bir bileşeni olarak yerini almalıdır. İyi tasarlanmış kentsel tarım stratejileri, hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamakla kalmaz, aynı zamanda şehirlerin sosyal dokusunu güçlendirerek daha yaşanabilir ve sürdürülebilir şehirler inşa edilmesine katkı sağlar.

5- KENT TARIMINA UYGUN OLAN SEBZELER

Kent tarımı, şehirde yaşayan bireylerin sınırlı alanlarda gıda üretmesini sağlayan sürdürülebilir bir uygulamadır ve özellikle bazı sebzeler bu ortamda yetiştirilmeye son derece uygundur. Araştırmalar, özellikle domates, marul, biber, salatalık, fasulye ve ıspanak gibi sebzelerin kent içi tarımda yaygın olarak tercih edildiğini göstermektedir. Bu sebzeler, balkon, teras, pencere önü gibi küçük alanlarda bile yetiştirilebilmekte ve çoğu zaman birden fazla kez hasat edilebilme özelliğine sahiptir. Örneğin, domates ve salatalık gibi türler saksılarda veya dikey tarım sistemlerinde verimli bir şekilde üretilebilirken, marul ve roka gibi yeşil yapraklı sebzeler az toprakla bile hızla büyüyebilir. Kent tarımıyla ilgili araştırmalarda, tüketicilerin bu tarz üretimlerden sağlıklı, taze ve daha sürdürülebilir sebzelere erişim sağladığı, aynı zamanda psikolojik ve sosyal faydalar da yaşadığı vurgulanmaktadır. Ayrıca, kent tarımının düşük gelirli kesimler için gıda güvencesi sağlama ve yoksulluğu azaltma potansiyeli olduğu da kanıtlanmıştır. Tüm bu bulgular, kent içinde domates, biber, marul, ıspanak, havuç, turp gibi çeşitli sebzelerin başarılı ve faydalı şekilde yetiştirilebildiğini göstermektedir. Bu yönüyle kent tarımı, yalnızca gıda üretimi değil, aynı zamanda çevresel ve toplumsal fayda sağlayan bir yaşam biçimi olarak değerlendirilebilir.

6- KENTSEL TARIM VE YEŞİL ALANLAR: SOSYAL ETKİLEŞİM VE TOPLUM SAĞLIĞINA KATKILARI

Kentsel tarım, şehirlerde gıda üretiminin yanı sıra sosyal etkileşimi artıran, çevresel faydalar sağlayan ve halk sağlığını iyileştiren önemli bir araçtır. Yeşil alanlar ve kentsel tarım uygulamaları, şehirlerin sosyal yapısını güçlendiren ve toplumsal bağları pekiştiren mekanlar yaratır. Bu tür yeşil alanlar, özellikle topluluk bahçeleri ve kentsel çiftlikler, yerel halkın doğayla bağlarını güçlendirirken, sosyal dayanışmayı ve topluluk içinde olumlu ilişkilerin gelişmesini teşvik eder.

Birçok araştırma, kentsel tarımın ve yeşil alanların, toplumsal etkileşimi artırma ve yerel toplulukların güçlenmesi açısından büyük potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Menconi ve arkadaşlarının (2019) **[21]** yaptığı bir araştırma, Seattle'daki bir topluluk bahçesinin, katılımcılara doğayla etkileşim, eğitim ve topluluk oluşturma gibi çeşitli sosyal faydalar sağladığını ortaya koymuştur. Katılımcılar, tarım alanları sayesinde gıda güvenliğinin artmasını ve sosyal bağlantıların güçlenmesini deneyimlemişlerdir. Bu tür sosyal etkileşimler, daha güçlü ve dirençli topluluklar yaratılmasına yardımcı olmaktadır.

Ek olarak, kentsel tarım ve yeşil alanlar, toplum sağlığını iyileştirmede de önemli bir rol oynamaktadır. Sağlıklı, taze ve organik gıda üretimi, bireylerin daha sağlıklı bir yaşam sürmelerine katkıda bulunurken, yeşil alanlarda geçirilen zaman psikolojik sağlık üzerinde olumlu etkilere yol açar. Yapılan araştırmalarda, yeşil alanlarda vakit geçiren bireylerin daha düşük stres seviyelerine sahip olduğu ve genel olarak daha sağlıklı oldukları gözlemlenmiştir **[22]**. Bu durum, yeşil alanların, sadece çevresel faydalar sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda halk sağlığını destekleyen stratejik alanlar olarak da önemli olduğunu göstermektedir.

Kentsel tarım, aynı zamanda çevresel faydalar sağlayarak toplum sağlığını destekler. Özellikle kentsel ısı adası etkisinin azaltılması, hava kalitesinin iyileştirilmesi ve biyolojik çeşitliliğin artırılması gibi çevresel iyileşmeler, kentsel alanlarda yaşam kalitesini doğrudan etkiler. Örneğin, Lin ve arkadaşları (2017) **[23]**, kentsel tarımın yeşil altyapı olarak sosyal ve çevresel iyileşmelere katkı sağladığını ve bunun, şehirdeki ekosistem hizmetlerinin güçlendirilmesine yardımcı olduğunu vurgulamışlardır. Yeşil alanlar, karbon emilimi, su yönetimi ve hava kalitesinin iyileştirilmesinde önemli bir rol oynar.

Sonuç olarak, kentsel tarım ve yeşil alanlar, şehirlerin sürdürülebilirliğine büyük katkı sağlar. Sosyal etkileşimleri teşvik eder, toplulukları güçlendirir, halk sağlığını iyileştirir ve çevresel faydalar sağlar. Bu uygulamaların yaygınlaştırılması, daha sağlıklı, dirençli ve sürdürülebilir şehirlerin oluşturulmasında önemli bir rol oynamaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Sanju, P. (2025). The Role of Urban Green Spaces in Mitigating Urban Heat Island Effect Amidst Climate Change. *Research Journal of Chemistry and Environment, Vol*, *29*, 1.

[2] Tsilini, V., Papantoniou, S., Kolokotsa, D. D., & Maria, E. A. (2015). Urban gardens as a solution to energy poverty and urban heat island. *Sustainable cities and society*, *14*, 323-333.

[3] Zipper, S. C., Schatz, J., Kucharik, C. J., & Loheide, S. P. (2017). Urban heat island-induced increases in evapotranspirative demand. *Geophysical Research Letters*, *44*(2), 873-881.

[4] Qiu, G. Y., Li, H. Y., Zhang, Q. T., Wan, C. H. E. N., Liang, X. J., & Li, X. Z. (2013). Effects of evapotranspiration on mitigation of urban temperature by vegetation and urban agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, *12*(8), 1307-1315.

[5] Small, G., Jimenez, I., Salzl, M. ve Shrestha, P. (2020). ABD, Minnesota, Saint Paul'daki bir kentsel bahçede artan buharlaşma-terleme nedeniyle kentsel ısı adasının hafifletilmesi. *WIT Trans. Ecol. Environ , 243* , 39-45.

[6] Eom, K. C., Jung, P. K., Park, S. H., Yoo, S. Y., & Kim, T. W. (2012). Evaluation of the Effect of Urban-agriculture on Urban Heat Island Mitigation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, *45*(5), 848-852.

[7] Rocha, A. D., Vulova, S., Meier, F., Förster, M., & Kleinschmit, B. (2022). Mapping evapotranspirative and radiative cooling services in an urban environment. *Sustainable Cities and Society*, *85*, 104051.

[8] Wang, Y., Zhang, Y., Ding, N., Qin, K., & Yang, X. (2020). Simulating the impact of urban surface evapotranspiration on the urban heat island effect using the modified RS-PM model: A case study of Xuzhou, China. *Remote Sensing*, *12*(3), 578.

[9] Octarino, C. N. (2023). Efektivitas Pertanian Perkotaan (Urban Farming) dalam Mitigasi Urban Heat Island di Kawasan Perkotaan. *ATRIUM: Jurnal Arsitektur*, *8*(3), 189-198.

[10] Fadhil, M., Hamoodi, M. N., & Ziboon, A. R. T. (2023). Mitigating urban heat island effects in urban environments: strategies and tools. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1129, No. 1, p. 012025). IOP Publishing.

[11] Cuce, P. M., Cuce, E., & Santamouris, M. (2025). Towards Sustainable and Climate-Resilient Cities: Mitigating Urban Heat Islands Through Green Infrastructure. *Sustainability*, *17*(3), 1303.

[12] Taha, H. (1997). Kentsel iklimler ve ısı adaları: albedo, buharlaşma ve antropojenik ısı. *Enerji ve binalar* , *25* (2), 99-103.

[13] Yu, Z., Chen, J., Chen, J., Zhan, W., Wang, C., Ma, W., ... & Sun, R. (2024). Enhanced observations from an optimized soil-canopy-photosynthesis and energy flux model revealed evapotranspiration-shading cooling dynamics of urban vegetation during extreme heat. *Remote Sensing of Environment*, *305*, 114098.

[14] Moss, J. L., Doick, K. J., Smith, S., & Shahrestani, M. (2019). Influence of evaporative cooling by urban forests on cooling demand in cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, *37*, 65-73.

[15] Mensah, J. K. (2023). Urban agriculture, local economic development and climate change: conceptual linkages. *International Journal of Urban Sustainable Development*, *15*(1), 141-151.

[16] Ebissa, G., Yeshitela, K., Desta, H., & Fetene, A. (2024). Urban agriculture and environmental sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, *26*(6), 14583-14599.

[17] Skar, S. L. G., Pineda-Martos, R., Timpe, A., Pölling, B., Bohn, K., Külvik, M., ... & Junge, R. (2020). Urban agriculture as a keystone contribution towards securing sustainable and healthy development for cities in the future. *Blue-Green Systems*, *2*(1), 1-27.

[18] Jonck, AV, Ribeiro, JMP, Berchin, II, Perini, FC ve de Andrade Guerra, JBSO (2018). İklim değişikliğinin azaltılması ve uyum sağlanması için girişimler olarak kentsel tarım uygulamaları: Güney Amerika şehrinde kentsel çiftlikler için olanaklar. *İklim Uyumunun Teorisi ve Uygulaması* , 493-506.

[19] Petrovics, D. ve Giezen, M. (2022). Sürdürülebilir kentsel gıda sistemleri için planlama: dikey çiftçiliğin ölçeklendirme potansiyelinin analizi. *Çevre Planlama ve Yönetim Dergisi* , *65* (5), 785-808.

[20] Anaafo, D., & Akolgo, G. A. (2018). The role of urban agriculture in climate change mitigation and adaptation in Ghanaian cities. *Journal of Energy and Natural Resource Management*, *1*(2).

[21] Menconi, M. E., Borghi, P., & Grohmann, D. (2020). Urban agriculture, cui prodest? Seattle's Picardo farm as seen by its gardeners. In *Innovative biosystems engineering for sustainable agriculture, forestry and food production: international mid-term conference 2019 of the Italian association of agricultural engineering (AIIA)* (pp. 163-168). Springer International Publishing.

[22] Pearson, D. ve Hodgkin, K. (2010). Kentsel tarımda toplum bahçelerinin rolü. *Toplum Bahçeleri Konferansında: Şehirde sürdürülebilirliği, sağlığı ve katılımı teşvik etmek* (s. 99-105). COGS Canberra Üniversitesi.

[23] Lin, B. B., Philpott, S. M., Jha, S., & Liere, H. (2017). Urban agriculture as a productive green infrastructure for environmental and social well-being. *Greening cities: Forms and functions*, 155-179.

TÜRKİYE'NİN ANTEP FISTIĞI TİCARETİNDE ULUSLARARASI REKABET GÜCÜNÜN ANALİZİ

Zir. Müh. Gül BİNBOĞA

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi ABD

gulbinboa@gmail.com- ORCID ID: 0009-0006-2366-1858

Prof. Dr. Nevin DEMİRBAŞ

Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü

nevin.demirbas@ege.edu.tr-ORCID ID: 0000-0002-0541-1437

ÖZET

Ekolojik istekleri nedeniyle dünyada sınırlı bölgelerde yetiştirilebilen Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.), yüksek besin değeri, uzun raf ömrü ve ilaçtan kozmetiğe uzanan geniş kullanım alanıyla ekonomik getirisi yüksek değerli bir tarımsal üründür. Bu değerli özellikleri nedeniyle küresel talebi giderek artan Antep fıstığında sürdürülebilir bir rekabet avantajı elde etmek üretici ülkeler açısından stratejik önem taşımaktadır. Türkiye, bu değerli ürünün sınırlı üreticilerinden biri olma avantajına sahip olmasına rağmen, küresel pazardan yeterli payı alamamaktadır. Türkiye'nin 2023 yılı itibariyle dünya kabuklu Antep fıstığı ihracatından aldığı pay %8.10'dur. Bu çalışma, Türkiye'nin Antep fıstığı dış ticaretindeki göreli rekabet gücünü belirlemeyi ve başlıca ihracatçı ülkelerle karşılaştırmalı olarak analiz ederek, küresel pazardaki konumunu ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmanın kapsamını, 2009-2023 yılları arasındaki 15 yıllık döneme ait kabuklu Antep fıstığı ticaret verileri oluşturmaktadır. Türkiye'nin uluslararası Antep fıstığı ticaretinde rekabet gücünün belirlenmesinde; Balassa'nın Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlük (RCA) indeksi, ithalat sızma oranı, dış rekabete açıklık, ihracat/ithalat oranı, net ihracat oranı ve uzmanlaşma katsayısından faydalanılmıştır. 2019-2023 yılları arasındaki küresel Antep fıstığı ihracat verileri temel alınarak, en yüksek ihracat payına sahip ülkeler olan Amerika Birleşik Devletleri (ABD), İran ve Çin, Türkiye'nin rakip ülkeleri olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, Türkiye'nin Antep fıstığı ticaretinde Balassa RCA indeksi (ortalama 3.24) ve diğer göstergelere göre rekabet gücüne sahip olduğu belirlenmiştir. Ancak, son yıllarda Türkiye'nin Antep fıstığı ithalat miktarının ihracatı aşması göz önüne alındığında rekabet gücünün sürdürülebilirliğinin kırılgan bir yapıya sahip olduğu değerlendirilmektedir. Başlıca rakip ülkelerle karşılaştırıldığında; dünya Antep fıstığı üretiminin ve ihracatının yarısından fazlasını gerçekleştiren lider konumdaki ABD ile bunu izleyen İran'a kıyasla Türkiye'nin rekabet avantajının daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlük, Antep fıstığı, Rekabet gücü, Türkiye.

1.GİRİŞ

Sert kabuklu bir meyve olan Antep fıstığı (*Pistacia vera* L., Anacardiaceae familyası), protein, lif, tekli doymamış yağ asitleri, mineraller, vitaminler ve biyoaktif bileşenler (karotenoidler, fenolik asitler, flavonoidler ve antosiyaninler) açısından zengin bir besin kaynağıdır. Antep fıstığının içerdiği polifenoller antioksidan, antiinflamatuar, antimikrobiyal ve antiviral özellikler göstermektedir. Ayrıca bilişsel işlevler, bağırsak mikrobiyotası ve cilt sağlığı üzerinde olumlu etkileri olduğu bildirilmektedir (Mandalari et al., 2022; USDA, 2025). Antep fıstığı, insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileriyle fonksiyonel gıda olarak tanımlanmaktadır (Mateos et al., 2022). Başta gıda olmak üzere kozmetik, kişisel bakım, yem sanayii gibi birçok sektörde kullanılan Antep fıstığına olan talep giderek artmaktadır. Dünya genelinde kabuklu Antep fıstığı üretimi 2009 yılında 553.822.3 ton düzeyinde iken takip eden 15 yıllık dönemde üretim miktarı %135.36 oranında artış göstererek 2023 yılında 1.303.461.9 tona ulaşmıştır. Bu süreçte, 2016 yılında kaydedilen 1.315.301.5 tonluk üretim ile en yüksek seviyeye ulaşılmış olup, genel olarak üretimde dalgalı bir seyir gözlemlenmiştir (FAOSTAT, 2025). Üretim miktarındaki dalgalanmalarda iklim değişikliği, periyodisite, sulama yetersizliği gibi birçok faktörün etkili olduğu çalışmalarda belirtilmiştir (Onay vd., 2012; Bartzas and Komnitsas, 2017; Ahmadi et al., 2021). ABD, 2023 yılı itibariyle dünya kabuklu Antep fıstığı üretiminin %51.85'ini karşılayarak ilk sırada yer almaktadır. ABD'yi; İran (%23.62), Türkiye (%13.50), Çin anakarası (%6.19) ve Suriye (%3.47) takip etmektedir.

Dünya kabuklu Antep fıstığı ticaretinin 2023 yılı toplam değeri yaklaşık 7.46 milyar ABD doları olup; bunun 3.922.766 bin doları ihracat, 3.537.339 bin doları ise ithalat kaleminden oluşmaktadır. Aynı yıl ihracatın %60.70'lik kısmını karşılayan ABD, dünya Antep fıstığı ihracatında ilk sırada yer almaktadır. ABD'yi sırasıyla Türkiye (%8.10), İran (%8.09), Belçika (%5.76) ve Almanya (%5.08) takip etmektedir. İthalatta ise; Çin anakarası (%13.09), Almanya (%12.32), Türkiye (%8.60), İtalya (%8.55) ve Hindistan (%5.93) öne çıkan ülkelerdir (FAOSTAT, 2025).

Türkiye, 2023 yılı itibariyle dünya kabuklu Antep fıstığı üretiminde %13.50'lik payla üçüncü sırada, ihracatta ise %8.10'luk payla ikinci sırada yer alması sebebiyle bu alanda söz sahibi ülkelerden biri olmasına rağmen, üretim ve ihracat düzeylerinin istenilen seviyede olmadığı değerlendirilmektedir (Tekin vd., 1995; FAOSTAT, 2025). Türkiye'nin 2009 yılında 81.795 ton olan kabuklu Antep fıstığı üretimi, %115.17 oranında artarak 2023 yılında 176.000 tona ulaşmıştır. Antep fıstığı dış ticaretinde net ihracatçı konumda yer alan Türkiye'nin ihracat değeri, 2009 yılında 23.131 bin ABD doları iken; %1273.90 oranında artış göstererek 2023 yılında 317.796 bin ABD dolarına yükselmiştir. Ancak bu artışa rağmen, ihracatın ithalatı karşılama oranı 2009 yılında %1112.07'den 2023 yılında %104.41'e gerilemiştir (FAOSTAT, 2025). Bu durum, ihracattaki artışa rağmen ithalatın çok daha yüksek bir hızla arttığını ve dış ticaret dengesinde Türkiye aleyhine bir gelişme yaşandığını ortaya koymaktadır. Bu sonuç üzerinde, Türkiye'nin genel ekonomik durumunda yaşanan zorluklar ve Antep fıstığı üretiminde kalite ve verim gibi sorunların etkin bir şekilde çözülememiş olmasının etkileri bulunmaktadır. Bu kapsamda, değerli bir ürün olan Antep fıstığına yönelik talebin arttığı göz önüne alındığında dünya üretim ve ihracatında önemli bir konumda yer alan Türkiye'nin uluslararası rekabet gücünün analiz edilmesi önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin Antep fıstığı ticaretindeki uluslararası rekabet gücünün belirlenmesidir. Araştırmanın kapsamı,

2009-2023 yıllarını kapsayan 15 yıllık dönemdeki Antep fıstığı ticaret verileri oluşturmaktadır. Rekabet gücünün ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlük (RCA), ithalat sızma oranı, dış rekabete açıklık, ihracat/ithalat oranı, net ihracat oranı ve uzmanlaşma katsayısından faydalanılmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmanın ana materyalini Antep fıstığı üretimi ve ticareti ile ilgili FAO'dan elde edilen veriler oluşturmaktadır. Türkiye'nin rekabet gücünün belirlenmesinde rekabet gücü ölçülmesinde kullanılan Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlük, İthalat Sızma Oranı, Dış Rekabete Açıklık, Net İhracat Oranı, İhracat/İthalat Oranı ve Uzmanlaşma Katsayısından yararlanılmıştır. Bu indeksler farklı tarım ve gıda ürünlerinin uluslararası rekabet gücünün analizinde sıklıkla kullanılmaktadır (Binboğa ve Demirbaş, 2024; Binboğa ve Demirbaş, 2025).

Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlük (Revealed Comparative Advantage-RCA): 1965 yılında Balassa tarafından geliştirilen Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlük (RCA) indeksi; Bir sektörün ihracatının bir ülkenin toplam ihracatı içindeki payının, o sektörün toplam dünya ihracatının toplam dünya üretimi oranına bölünmesi ile hesaplanmaktadır (DPT, 2007; Akyüz, 2019). Hesaplanan RCA değerinin 1'den büyük olması ülkenin ilgili üründe veya alanda açıklanmış karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olduğu; aksi durumda olmadığı kabul edilmektedir. Bu indeks aşağıdaki formülle hesaplanır;

$$RCA_{ij} = (\frac{X_{ij}}{X_{it}})/(\frac{X_{wj}}{X_{wt}})$$

Formülde; X_{ij} = i ülkesinin j malı ihracatı; X_{it} = i ülkesinin toplam ihracatı; Xw_j = Dünya j malının toplam ihracatı; Xw_t = Dünya toplam ihracatını göstermektedir (Juchniewicz, 2013; Akyüz, 2019).

İthalat Sızma Oranı: Bu oran, yurtiçi talebin ne kadarının ithal mallarla karşılandığını göstermektedir (Fronczek, 2017). Bir sektörün ithalat miktarı, o sektöre yönelik toplam iç talep miktarına (yurtiçi üretim+ithalat-ihracat) bölünür ve 100 ile çarpılır. Oranın sıfıra yakın olması ithalatın iç talep içerisinde ihmal edilebilir olduğunu, 100'e yakın olması ise iç talebin tamamına yakınının ithalat ile karşılandığını göstermektedir (DPT, 2007).

Dış Rekabete Açıklık: Sektörün ithalat ve ihracat düzeylerini dikkate alarak; ((sektör ihracatı/sektör üretimi) + (1-(sektör ihracatı/sektör üretimi)) x (sektör ithalatı/sektörde yurtiçi tüketim) şeklinde hesaplanan oranın, yüksek olması, sektörün dışa açık olduğunu göstermektedir (DPT, 2007; Kalkınma Bakanlığı, 2018).

Net İhracat Oranı: Net ihracatın göreli büyüklüğünü gösteren oran**;** (ihracat-ithalat)/(ihracat+ithalat)x100) şeklinde hesaplanmaktadır. Bu oran, ihracatın ithalattan büyük olduğu durumlarda pozitif bir değer alırken, tersi durumda ise negatif bir değer almaktadır (Demir, 2001).

İhracat/İthalat Oranı: Rekabet gücü yalnızca ülkelerin ihracatlarıyla ilgili değil, aynı zamanda ithalatlarıyla da ilgilidir (Saricoban and Kaya, 2017). Bir ülkenin uluslararası ticaret rekabet gücünü belirlemek amacıyla ihracatın ithalatı karşılama oranının ölçülmesi;

(ihracat/ithalat)x100 şeklinde hesaplanmaktadır. Oranın değeri ne kadar yüksekse, ülke belirli bir sektörde uluslararası ticaret açısından o kadar rekabetçidir (Juchniewicz, 2013).

Uzmanlaşma Katsayısı: Bir sektördeki üretimin, o sektördeki yurtiçi tüketime bölünmesi suretiyle hesaplanmaktadır. Oranın büyüklüğü sektörün uzmanlaşma düzeyinin yüksek olduğunu göstermektedir (DPT, 2007).

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Türkiye'nin kabuklu Antep fıstığı ticaretindeki rakiplerini belirlemek amacıyla, ülkelerin 2019-2023 yılları arasındaki ihracat değerlerinin aritmetik ortalaması alınmıştır. 2019-2023 dönemi dünya Antep fıstığı ihracat ortalamalarına göre; ABD (%51.57), İran (%19.37), Türkiye (%6.39), Almanya (%5.17) ve Çin (%3.89) olmak üzere ilk beş ülke, toplam ihracatın %86.39'unu gerçekleştirmiştir. Bu ülkelerden Almanya'nın Antep fıstığı üreticisi olmadığı göz önüne alınarak, Türkiye'nin uluslararası pazardaki rekabet gücünün değerlendirilmesinde en önemli rakip ülkelerin ABD, İran ve Çin olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Dünya Kabuklu Antep Fıstığı İhracatında Türkiye'nin Rakibi Olan Ülkeler (%)

S.No	Ülkeler	2019 %	2020 %	2021 %	2022 %	2023 %	2019-2023 Yılları Ortalama Değer (Bin US$)	%	Kümülatif Toplam %
1	ABD	52.43	39.89	48.27	56.80	60.70	1.853.498.60	51.57	**51.57**
2	İran	15.73	37.00	25.08	10.17	8.09	696.106.00	19.37	**70.94**
3	Türkiye	5.24	4.12	6.44	8.18	8.10	229.818.60	6.39	**77.33**
4	Almanya	3.37	5.03	4.77	7.91	5.08	185.679.40	5.17	**82.50**
5	Çin*	11.53	2.93	2.44	1.50	1.15	139.698.00	3.89	**86.39**
6	Belçika	1.89	1.95	2.87	3.37	5.76	115.224.00	3.21	**89.60**
7	Birleşik Arap Emirlikleri	2.26	1.88	2.00	3.59	3.42	94.043.60	2.62	**92.22**
8	Hollanda (Krallık)	1.77	1.53	1.46	1.73	1.58	57.802.00	1.61	**93.83**
Diğer ülkeler toplamı		5.79	5.66	6.67	6.75	6.12	222.128.60	6.18	**100.00**
Dünya toplamı		**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**100.00**	**3.593.998.80**	**100.00**	

*Çin, Mainland ve Çin, Hong Kong SAR toplamıdır.
Kaynak: FAOSTAT, 2025 verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Türkiye'nin Antep fıstığı ticaretindeki rekabet gücünü belirlemek ve küresel pazardaki konumunu değerlendirmek amacıyla dış ticarette öne çıkan ülkeler olan ABD, İran ve Çin'in 2009-2023 dönemindeki performansları hesaplanmıştır (Çizelge 2).

ABD'nin ortalama Balassa RCA değeri 4.86 olup; bu ülkenin Antep fıstığı ticaretinde karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olduğunu göstermektedir. Balassa RCA değeri 2023 yılında 7.12 ile en üst noktaya ulaşmıştır. Ortalama Net İhracat Oranı %99.38, İhracat/İthalat Oranı ise 533.83 gibi oldukça yüksek bir seviyede gerçekleşmiştir. Ayrıca, İthalat Sızma Oranı %0.35 ile oldukça düşüktür. 2009 yılına göre ilerleyen yıllarda düşen Dış Rekabete Açıklık değeri ortalama olarak 0.54'tür ve orta düzeydedir. ABD'nin hem düşük ithalat düzeyi hem de yüksek ihracat kapasitesiyle Antep fıstığı ticaretinde rekabet gücü yüksek bir ihracatçı ülke olduğu değerlendirilmektedir. Aynı zamanda, ortalama Uzmanlaşma Katsayısı 2.30 ile incelenen ülkeler arasında en yüksek değere sahiptir. Bu sonuçlar, ABD'nin Antep fıstığı ihracatında

yüksek bir düzeyde uzmanlaştığını ve küresel pazarda güçlü bir rakip olduğunu ortaya koymaktadır.

İran'ın Antep fıstığına ilişkin 15 yıllık ortalama Balassa RCA değeri, 63.57 ile incelenen ülkeler arasında en yüksek düzeydedir. Bununla birlikte Balassa RCA değeri 2023 yılında 18.33 ile en düşük düzeyi görmüştür. İran Antep fıstığı dış ticaretinde diğer ülkelere göre yüksek bir karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olmakla birlikte, ülkenin yıllara göre RCA değerleri istikrarlı değildir. Ayrıca, İran'ın ortalama Net İhracat Oranı %98.18, İhracat/İthalat Oranı 1202.27 ve İthalat Sızma Oranı %0.20 olarak hesaplanmıştır. Bu göstergeler, İran'ın Antep fıstığı ithalatının çok düşük olduğunu, iç talebin büyük ölçüde yerli üretimle karşılandığını ve ihracat odaklı bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Ülkenin Dış Rekabete Açıklık değerleri de yıllara göre dalgalı bir seyir izlemiş olup; ortalama değeri 0.41'dir ve buna göre dış rekabete açıklık düşük düzeydedir. Ortalama Uzmanlaşma Katsayısı ise 0.85 ile 1'in altındadır ve ülkenin Antep fıstığında uzmanlaşma düzeyi düşüktür. Ancak, İran'ın 2020 yılına ilişkin verilerindeki tutarsızlık nedeniyle elde edilen bu sonucun ihtiyatlı olarak değerlendirilmesi gerektiği belirtilmelidir. Bu veriler, İran'ın küresel Antep fıstığı pazarında önemli bir rakip olduğunu göstermekle birlikte, uzmanlaşma düzeyindeki sınırlılıklar ve göstergelerdeki dalgalanmaların sürdürülebilir rekabet gücünü kısıtlayabileceğine işaret etmektedir.

Türkiye'nin Balassa RCA ortalama değeri 3.24'tür ve Antep fıstığı dış ticaretinde karşılaştırmalı üstünlüğü bulunmaktadır. 2010 ve 2014 yıllarında RCA değerinin 1'in altına düşmesine rağmen, özellikle 2018 sonrası hızlı bir artış gözlenmiş ve 2022 yılında 7.96 ile en yüksek seviyesine ulaşmıştır. Ortalama Net İhracat Oranı %64.02, İhracat/İthalat Oranı %71.84 ve İthalat Sızma Oranı %4.87'dir. 2022-2023 yıllarında Net İhracat Oranı'nda negatif değerlere ulaşılması ve İhracat/İthalat Oranı'nda görülen düşüş, ihracat performansında zayıflamaya işaret etmektedir. Ayrıca, ortalama Dış Rekabete Açıklık değeri 0.10 ile düşük düzeydedir. Ortalama Uzmanlaşma Katsayısı 1.01 olan Türkiye'nin uzmanlaşma düzeyi sınırdadır. Ancak 2022 yılında bu oran 0.98'e, 2023 yılında ise 0.94'e gerilemiştir. Bu göstergeler, Türkiye'nin sahip olduğu üretim potansiyeline rağmen rakipleri karşısında Antep fıstığı dış ticaretinde güçlü bir rekabet avantajına sahip olmadığını ortaya koymaktadır.

Ortalama Balassa RCA değeri 0.75 olan Çin'in Antep fıstığı ticaretinde karşılaştırmalı üstünlüğü bulunmamaktadır. Sadece 2011-2013 ve 2018 yıllarında 1'in üstüne çıkan Balassa RCA değeri özellikle 2020 yılından sonra ciddi bir şekilde azalmıştır. Çin'in ortalama Net İhracat Oranı %-44.82, İhracat/İthalat Oranı %0.41, İthalat Sızma Oranı %83.48'dir. Bu göstergeler, Çin'in Antep fıstığı ticaretinde büyük ölçüde ithalata bağımlı bir yapıya sahip olduğuna işaret etmektedir. Dış Rekabete Açıklık oranı 0.88 ile yüksek seviyededir. Ancak, ortalama Uzmanlaşma Katsayısının 0.54 seviyesinde kalması, Çin'in bu üründe dış ticaret açısından uzmanlaşmış bir ülke olmadığını ortaya koymaktadır. Bu kapsamda, Çin'in Antep fıstığı pazarında arz yönünden zayıf olduğunu, büyük ölçüde ithalatçı ve ülke üretiminin iç talebi karşılamakta yetersiz olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla küresel Antep fıstığı pazarında rekabet gücü olmadığı ancak talep açısından güçlü bir alıcı olduğu belirtilebilir.

Elde edilen sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde, Antep fıstığı üretiminde yüksek Uzmanlaşma Katsayısı ve yüksek ihracat oranı ile ABD dünya lideri konumundadır. ABD'yi Antep fıstığı ticaretinde rekabet gücü olan İran ve Türkiye takip etmektedir, Çin'in ise rekabet gücü bulunmamaktadır. Konu ile ilgili daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde Amirteimoori and Chizari (2018), İran'ın Antep fıstığı üretiminde ve ihracatında 2000-2004

dönemi için karşılaştırmalı üstünlüğe sahip olduğunu bulmuştur. Khodadad ve Rezaei (2011), İran ve Türkiye'nin 1982-2007 döneminde Antep fıstığı ihracatında Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlüğe (RCA) sahip olduğunu, ancak ABD'nin bu dönemde rekabet avantajının olmadığını ortaya koymuştur. Buna karşılık, 2008-2013 dönemi için ARIMA yöntemiyle yapılan tahminlerde, ABD'nin RCA değerlerinde artış, Türkiye ve İran'ın RCA değerlerinde ise azalma olacağı öngörülmüştür. Söz konusu bulgular, bu çalışmanın bazı bulguları ile paralellik göstermektedir. Nitekim, 2019-2023 döneminde ABD'nin rekabet gücünün arttığı, İran'ın ise azaldığı tespit edilmiştir. Güvenç ve Kazankaya (2021), 2012-2017 yılları arasını içeren çalışmalarında bu çalışmaya benzer olarak Antep fıstığı ticaretinde Türkiye'nin 2014 yılı hariç olmak üzere orta-zayıf düzeyde bir rekabet gücü olduğunu belirlemişlerdir.

Çizelge 2. Antep Fıstığı İhracatında Öne Çıkan Ülkelerin Rekabet Güçlerine İlişkin Göstergeler (2009-2023)

Ülke	Göstergeler	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Ortalama
ABD	Balassa RCA	4.34	2.94	3.26	4.90	5.79	3.29	3.35	3.46	4.66	5.95	5.99	4.90	6.10	6.81	7.12	**4.86**
	İthalat Sızma Oranı	0.57	0.38	0.13	0.53	0.26	0.13	0.89	0.16	0.52	0.25	0.34	0.56	0.25	0.30	0.05	**0.35**
	Dış Rekabete Açıklık	0.71	0.44	0.53	0.51	0.64	0.50	0.67	0.33	0.71	0.43	0.68	0.38	0.42	0.60	0.49	**0.54**
	Net İhracat Oranı	99.52	99.02	99.77	98.99	99.71	99.73	99.12	99.35	99.57	99.34	99.69	98.14	99.33	99.59	99.90	**99.38**
	İhracat/İthalat Oranı	418.31	202.70	867.95	196.63	680.41	746.38	225.24	304.93	461.26	303.13	640.93	106.74	298.06	489.88	2064.87	**533.83**
	Uzmanlaşma Katsayısı	3.36	1.77	2.11	2.03	2.78	1.98	2.99	1.50	3.38	1.75	3.15	1.59	1.73	2.46	1.95	**2.30**
İran	Balassa RCA	38.70	63.29	52.80	34.68	30.19	98.04	93.33	76.06	65.14	22.20	57.88	196.06	79.99	26.89	18.33	**63.57**
	İthalat Sızma Oranı	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07	0.07	0.03	0.00	0.29	0.00	0.00	1.24	1.24	**0.20**
	Dış Rekabete Açıklık	0.41	0.71	0.83	0.53	0.22	0.42	0.29	0.24	0.20	0.29	0.24	1.07	0.31	0.23	0.14	**0.41**
	Net İhracat Oranı	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.97	99.66	99.57	99.73	100.00	98.14	100.00	100.00	91.38	84.29	**98.18**
	İhracat/İthalat Oranı	*	*	*	*	*	6473.97	588.82	468.81	743.65	*	106.75	*	*	22.21	11.73	**1202.27**
	Uzmanlaşma Katsayısı	1.71	3.44	5.84	2.14	1.28	1.71	1.41	1.32	1.25	1.41	1.31	-13.98	1.46	1.26	1.13	**0.85**
Türkiye	Balassa RCA	1.72	0.73	1.24	1.49	2.47	0.64	2.38	2.19	1.47	2.82	5.44	4.26	6.34	7.96	7.50	**3.24**
	İthalat Sızma Oranı	0.25	0.01	0.01	0.00	0.31	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04	18.20	4.56	14.41	12.21	23.02	**4.87**
	Dış Rekabete Açıklık	0.03	0.01	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	0.03	0.0	0.02	0.34	0.10	0.31	0.21	0.37	**0.10**
	Net İhracat Oranı	84.69	96.17	98.29	100.00	87.38	96.44	99.04	98.79	99.40	95.97	1.87	7.58	18.27	-8.77	-14.87	**64.02**
	İhracat/İthalat Oranı	12.06	51.21	116.00	*	14.84	55.17	206.84	163.65	332.01	48.69	1.04	1.16	1.45	0.84	0.74	**71.84**
	Uzmanlaşma Katsayısı	1.03	1.01	1.01	1.02	1.04	1.01	1.02	1.03	1.04	1.02	1.01	1.01	1.06	0.98	0.94	**1.01**
Çin	Balassa RCA	0.85	0.83	1.12	1.40	1.37	0.86	0.80	0.89	0.70	1.03	0.87	0.20	0.16	0.10	0.08	**0.75**
	İthalat Sızma Oranı	89.88	100.17	95.73	100.87	92.79	89.18	71.35	103.43	92.51	94.22	96.67	65.63	67.51	39.70	52.52	**83.48**
	Dış Rekabete Açıklık	0.98	1.00	1.00	1.00	0.99	0.98	0.89	1.00	0.99	0.99	1.00	0.73	0.72	0.44	0.56	**0.88**
	Net İhracat Oranı	-46.00	-45.16	-22.30	-27.54	-28.01	-21.68	-23.43	-19.81	-35.47	-34.27	-43.86	-76.53	-84.96	-76.92	-86.32	**-44.82**
	İhracat/İthalat Oranı	0.37	0.38	0.64	0.57	0.56	0.64	0.62	0.67	0.48	0.49	0.39	0.13	0.08	0.13	0.07	**0.41**
	Uzmanlaşma Katsayısı	0.43	0.38	0.65	0.56	0.59	0.68	0.73	0.66	0.52	0.52	0.41	0.43	0.38	0.65	0.51	**0.54**

*İthalat verisi "0" olduğu için hesaplanamamıştır.

Kaynak: FAOSTAT, 2025 verilerinden yararlanılarak hesaplanmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Katma değeri ve besin değeri yüksek bir ürün olan Antep fıstığı, dünya üretim ve ticaretinde önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye, bu alanda önde gelen ülkelerden biri olmasına rağmen, başlıca rakipleri olan ABD ve İran'a kıyasla uluslararası pazarda daha düşük bir rekabet gücüne sahiptir. Rakip ülke olarak belirlenen Çin'in Balassa RCA indeksine göre sadece 2011-2013 ve 2018 yıllarında zayıf bir rekabet avantajı bulunurken genel olarak rekabet avantajı bulunmadığı tespit edilmiştir. Antep fıstığı ticaretinde yüksek Uzmanlaşma Katsayısı ve yüksek ihracat oranı ile ABD en avantajlı konumdadır. İran yüksek Balassa RCA değeri ve ihracat oranıyla pazarda ikinci en avantajlı ülke olarak değerlendirilmiştir. Türkiye'nin ise son yıllarda Antep fıstığı ithalat miktarının ihracatı aşması nedeniyle sürdürülebilir rekabet gücünün zayıfladığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla Türkiye'nin Antep fıstığı ticaretinde önemli bir aktör olmasına rağmen, rekabet gücünün kırılgan bir yapıya sahip olduğu değerlendirilmektedir. Bu kapsamda, Türkiye'nin Antep fıstığı üretim ve dış ticaretinde rakip ülkeler karşısındaki konumunu güçlendirmesi ve sürdürülebilir bir rekabet gücü elde edebilmesi için; verimlilik ve kalite artışını hedefleyen, üretimden dış ticarete kadar tüm süreci kapsayan bütüncül politikaların geliştirilmesi ve bu politikaların etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Ahmadi, H., Baaghideh, M. and Dadashi-Roudbari, A., Climate Change Impacts on Pistachio Cultivation Areas in Iran: A Simulation Analysis Based on CORDEX-MENA Multi-Model Ensembles, Theoretical and Applied Climatology, 145, 109-120, 2017.

Akyüz, K.C., Açıklanmış Karşılaştırmalı Üstünlükler İndeksi Kullanılarak Kağıt ve Kağıt Ürünleri Sanayi Sektörünün Rekabet Gücünün Belirlenmesi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 21, 1, 164-171, 2019.

Amirteimoori, S. and Chizari, A. H., An İnvestigation of Comparative Advantage of Pistachio Production and Exports in Iran., Journal of Agricultural Science and Technology, 10(5), 395-403, 2008.

Bartzas, G. and Komnitsas, K., Life Cycle Analysis of Pistachio Production in Greece. Science of The Total Environment, 595, 13-24, 2017.

Binboğa, G. ve Demirbaş, N., Türkiye'nin Tavuk Eti Ticaretinde Uluslararası Rekabet Gücünün Analizi, Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 29 (3), 846-861, 2024.

Binboğa, G. ve Demirbaş, N., Türkiye'nin Badem Ticaretinde Küresel Rekabet Gücünün Analizi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 40(1), 15-37, 2025.

Demir, İ., Türkiye Beyaz Eşya Sanayiinin Rekabet Gücü ve Geleceği. DPT Uzmanlık Tezi, 2001. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Turkiye-Beyaz-Esya-Sanayinin-Rekabet-Gucu-ve-Gelecegi_Ibrahim-Demir.pdf (Erişim tarihi: 02 Mayıs 2025).

DPT, Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013): Gıda sanayii özel ihtisas komisyonu raporu, 2007. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Dokuzuncu-Kalkinma-Plani-Gida-Sanayii-OIK.pdf (Erişim tarihi: 05 Mayıs 2025).

FAOSTAT, Data, 2025. https://www.fao.org/faostat/en/#data (Erişim tarihi: 30.04.2025).

Fronczek, M., Import Penetration in View of A New Concept of Measuring Foreign Trade, Argumenta Oeconomica, 1(38), 285-297, 2017.

Güvenç, İ. and Kazankaya, A., Türkiye'de Antepfıstığı Üretimi, Fiyat Değişimi, Dış Ticareti ve Rekabet Gücü, Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences, 11(1), 83–88, 2021.

Juchniewicz, M., The level of international competitiveness of Poland's wood and furniture industry, Socio-economic Research Bulletin, 50(1), 49-53, 2013.

Kalkınma Bakanlığı, Otomotiv Sanayii Çalışma Grubu Raporu, 2018, https://www.sbb.gov.tr/wpcontent/uploads/2020/04/OtomotivSanayiiCalismaGrubuRaporu.pdf (Erişim tarihi: 02 Mayıs 2025).

Khodadad, M. and Rezaei, A., Future Prospects of Iran, U.S and Turkey's Pistachio Exports, Journal of Agricultural Economics and Development, 3(6), 64–69, 2011.

Mandalari, G., Barreca, D.,Gervasi, T., Roussell, M.A.;,Klein, B.,Feeney, M.J. and Carughi, A. Pistachio Nuts (Pistacia vera L.): Production, Nutrients, Bioactives and Novel Health Effects, Plants 11(18), 1-21, 2022.

Mateos, R., Salvador, M.D., Fregapane, G. and Goya, L., Why Should Pistachio Be a Regular Food in Our Diet? Nutrients, 14, 3207, 2022.

Onay, A., Tilkat, E., Arsalı, Y., Ayaz Tilkat, E. ve Süzerer, V., Antepfıstığının (*Pistacia Vera* L.) Morfolojik ve Biyolojik Özellikleri ile Verimini Etkileyen Faktörler, Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 2(1), 116-131, 2012.

Saricoban, K. and Kaya, E., Determination of the Seafood Export Competitiveness: The Comparative Analysis of Top Ten Countries Having Lion Share From Seafood Export, Journal of Business, Economics and Finance -JBEF, 6(2), 112-124, 2017.

Tekin, H., Arpacı, S., Atlı, S., Karaca, R., Mart, C. ve Turan, K., *Antepfıstığı Yetiştirme Tekniği*, Antepfıstığı Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Yayın No: 4, Gaziantep, 1995.

USDA., FoodData Central Food Details. https://fdc.nal.usda.gov/food-details/2515379/nutrients (Erişim tarihi: 03 Mayıs 2025).

THE EFFECTS OF BACK PAIN ON DISABILITY IN NURSES WORKING IN HOSPITALS. A CROSS-SECTIONAL STUDY

Dr. can. Sebastjan Mjekaj[1], Prof. as. Dr. Enkeleda Sinaj[2], Dr. Julian Kraja[3]

[1]University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Faculty of Natural Sciences, https://orcid.org/0009-0002-5115-9073

[2]Tirana Medical University, Faculty of Medical Technical Sciences, https://orcid.org/0000-0002-1230-2351

[3]University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", Faculty of Natural Sciences, https://orcid.org/0000-0001-6694-394X

Abstract

The purpose of this paper is to identify risk factors that affect the level of disability caused by back pain in nurses at the Shkodra Regional Hospital. **Methodology -** A total of 38 nurses, who were full-time employees at Shkodra Regional Hospital, participated in this study. The data were collected during the period from 15 December 2023 to 15 January 2024 through the administration of a questionnaire. Two tools were utilised in this study: the demographic questionnaire and the Oswestry Low Back Disability Questionnaire. To perform the statistical analysis, we used Excel and version 19 of the SPSS statistical package. First, we analyzed the distribution of independent and dependent variables. **Results** - When asked how important continuing education is, 63.16% responded as very important and 36.84% as not very important. **Discussions -** Increasing age or aging has been shown to be associated with a decrease in muscle strength, muscle strain, muscle atrophy and muscle weakness, which renders the individual more vulnerable to back pain. The present study indicated a significant association between shift work and long hours, and the possibility of back pain. **Conclusions –** The health of healthcare workers is a matter of concern, with the prevalence of back pain being a significant contributing factor. The age of the workforce, the nature of shift work, and the duration of hours worked have been identified as key elements that can negatively impact the health of these individuals. It is therefore incumbent upon management to pay close attention to these issues.

Key words: back pain, disabiliti, nurse, hospital.

1. INTRODUCTION

Pain is an unpleasant sensory and emotional experience and is often called the "fifth vital sign" in hospital settings, and low back pain in nurses is the most commonly reported type among them (Zaitoon et al., 2024). Low back pain is neither a disease nor a diagnostic entity, but is pain of variable duration in response to internal and external stimuli (Tefera et al., 2021). Musculoskeletal disorders are the second leading cause of physical disability, with the muscles of the back and lumbar region predominating (Gilchrist et al., 2024; Poorhaji et al., 2023). Low back pain is the leading cause of activity limitation, imposing economic problems on individuals, families, societies and governments (Mirzamohammadi et al., 2021). Of note is the fact that the negative effects of back pain are more common in low- and middle-income countries (Nkhata et al., 2024). Surveys show that back pain and the risk of spinal injuries in nurses are evident due to the compression of musculoskeletal structures, especially during repetitive and static movements, as well as during bending and twisting (Poorhaji et al., 2023).

It is their daily work that makes nurses exposed to activities that create conditions for low back pain (Banga et al., 2024). Due to the workplace and professional responsibility that nurses have (Tosunoz & Oztunc, 2020), they are more at risk of low back pain problems than all other healthcare personnel (Banga et al., 2024; Gilchrist et al., 2024; Liu et al., 2023; Rezaei et al., 2021; Tosunoz & Oztunc, 2020; Yoshimoto et al., 2019). Low back pain in nurses is mainly due to several factors such as body position at work, prolonged periods of standing, bending and lifting, which strain the lower back, and stress that contributes to muscle tension and discomfort (Zaitoon et al., 2024). In addition to physical and psychological factors, other occupation-specific factors, such as manual handling and night shifts, have been suggested to be a cause of low back pain in nurses (Yoshimoto et al., 2019). Another very important factor related to low back pain is age, because with age, the probability of osteoporosis increases and supporting muscles weaken (Rezaei et al., 2021). In addition, mental well-being, quality of life and financial situation can be affected by low back pain in nursing personnel (Liu et al., 2023). It is precisely low back pain that causes nurses to face lower productivity at work (Gilchrist et al., 2024; Nkhata et al., 2024; Liu et al., 2023; Rezaei et al., 2021), receiving medical services and early retirement (Rezaei et al., 2021). It is necessary to raise awareness, carry out comprehensive interventions for health and safety at work, to mitigate physical injuries in nurses (Gilchrist et al., 2024). Therefore, the purpose of this paper is to identify risk factors that affect the level of disability caused by back pain in nurses at the Shkodra Regional Hospital.

2. METHODS

2.1.Study Design

The study employed a descriptive correlational design, with data collected from 38 nurses employed at Shkodra Regional Hospital, Albania.

2.2.Sample

A total of 38 nurses, who were full-time employees at Shkodra Regional Hospital, participated in this study.

2.3.**The inclusion criteria were as follows**: nurses reporting back pain, aged 25 years or older, and employed in the current year (2023-2024).

2.4.Data Collection

The data were collected during the period from 15 December 2023 to 15 January 2024 through the administration of a questionnaire. Two tools were utilised in this study: the demographic questionnaire and the Oswestry Low Back Disability Questionnaire. The demographic questionnaire aimed to collect data on the personal characteristics of the participants. It inquired about gender, age, marital status, number of children, educational level, years of work, working hours, shift work, and a question regarding nurses' perceptions of education on techniques that can protect them from back pain during daily work.The Oswestry Low Back Disability Questionnaire is a 10-item instrument. This questionnaire examines the level of disability in 10 daily activities of daily living: pain intensity; personal care; lifting; walking; sitting; standing; sleeping; sex (if applicable); social; and travel.Each item consists of six statements which are rated from 0 to 5. Zero indicates the least disability and 5 the greatest.

2.5.Statistical analysis

To perform the statistical analysis, we used Excel and version 19 of the SPSS statistical package. First, we analyzed the distribution of independent and dependent variables. Then, we analyzed whether there is a relationship between independent and dependent variables using correlation analysis with the Chi-square test for nominal data and Kendall Tau-b for non-parametric data.

 In the independent variables, we included age (25-34 years, 35-44 years, 45-54 years, 55-60 years), gender (male vs female), civil status (married/single), education

(secondary/higher Bachelor/higher Master), length of service (less than 5 years, more than 5 years, more than 10 years, more than 15 years), working hours (8 hours, 12 hours, 24 hours), work shifts (day shifts, mixed shifts, night shifts).

- In the dependent variables, the study incorporated questionnaire questions pertaining to back pain.

Two hypotheses were formulated: the null hypothesis and the alternative hypothesis:

- The null hypothesis postulated an absence of relationship between age, gender, seniority in work, working hours, and work shifts, and the level of disability.
- Conversely, the alternative hypothesis hypothesised a relationship between age, gender, seniority in work, working hours, and work shifts, and the level of disability.

2.6.Ethical considerations

The study employed a descriptive design to investigate the risk factors and level of disability caused by back pain in nurses. The present study has been reviewed and approved by the Ethics Committee of the Department of Preclinical Subjects at the University of Shkodra "Luigj Gurakuqi", with document reference number 102/1. The document was signed on 5th October 2023 in Shkodra, Albania. The confidentiality of the participants is maintained as no identifying information is recorded. Participants were informed about the questionnaire by the authors of the article and it was understood that their consent was implied by completing the questionnaire. Data were collected and stored electronically.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Table 1. Demographic data

		Frequency	Percent
Age			
	25-34	15	39.5
	35-44	15	39.5
	45-54	7	18.4
	55-60	1	2.6
Gender			
	Woman	17	44.7
	Man	21	55.3
Civil status			
	Single	13	34.2
	Married	25	65.8
Children			
	Without children	16	42.1
	With 1-2 children	14	36.8
	With 3-4 children	5	13.2
	More than 4 children	3	7.9
Work experience			
	Less than 5 years	11	28.9
	More than 5 years	19	50.0
	More than 10 years	5	13.2
	More than 15 years	3	7.9
Working hours			
	8 hours	3	7.9
	12 hours	34	89.5
	24 hours	1	2.6
Work shifts			
	Day shift	10	26.3
	Mixed shift	27	71.1
	Night shift	1	2.6
The importance of training			

	Important	24	63.16
	Unimportant	14	36.84

As demonstrated in Table No. 1, 55% of respondents identified as male and 45% as female. With respect to age demographics, 40% of respondents fell within the 35-44 age bracket, 39% were between 25-34 years of age, 18% were 45-54 years of age, and 3% were 55-60 years of age. With respect to civil status, 66% of respondents were married, while 34% reported being single. In terms of familial status, 42% of respondents reported being childless, 37% had one to two children, 13% had three to four children, and 8% had more than four children. Notably, 58% of the personnel held a Master's degree, while 42% possessed a Bachelor's degree. The majority of respondents had been in their current workplace for more than five years (50%), 29% had been in it for less than five years, 13% had been in it for more than 10 years, and only 8% had been in it for 15 years. The data further reveals that the majority of respondents (89%) worked 12-hour shifts, 8% worked 8-hour shifts, and only 3% worked 24-hour shifts. The distribution of shift types was as follows: 71% worked mixed shifts, 26% worked day shifts, and 3% worked night shifts. When asked how important continuing education is, 63.16% responded as very important and 36.84% as not very important.

Table 2. The relationship between the level of disability and age

			Age	Disability
Tau_b di Kendall		Correlation coefficient	1.000	.312*
	Age	Significance	.	.036
		N	38	38
		Correlation coefficient	.312*	1.000
	Disability	Significance	.036	.
		N	38	38

As demonstrated in Table No. 2, the value of r is found to be 0.3, thereby indicating a relationship between age and level of disability. In this instance, the alternative hypothesis is accepted. The value of p is 0.036, which is less than 0.05, thus demonstrating the significance of this relationship.

The present study demonstrated a significant relationship between age and the level of disability (r=0.3, p=0.036), thus indicating that as age increases, so too does the prevalence of back pain. This finding aligns with the conclusions of several studies, including those by Gilchrist et al. (2024), Zaitoon et al. (2024), Poorhaji et al. (2023), Ayane et al. (2021), Mirzamohammadi et al. (2021), and Tosunoz & Oztunc (2020), which also reported a heightened risk of back pain with increasing age. Increasing age or aging has been shown to be associated with a decrease in muscle strength, muscle strain, muscle atrophy and muscle weakness, which renders the individual more vulnerable to back pain (Ayane et al., 2021).It is precisely increasing age that leads to increased osteoporosis and muscle weakness, rendering older people more exposed to back pain (Poorhaji et al., 2023).

Table. 3. The correlation between Gender - disability

		Value	E.S. asint.[a]	T appross.[b]	Sig. appross.
Intervalore - Intervalore	R Pearson	.255	.130	1.583	.122[c]
Ordinale - ordinale	Spearman correlation	.254	.150	1.577	.124[c]
No. of valid cases		38			

	Value	df	Significant value
Chi-square of Pearson	3.383[a]	3	.336
Odds ratio	4.163	3	.244

Linear-linear connection	2.409	1	.121
No. of valid cases	38		

As demonstrated in Table No. 3, the data analysis yielded a p-value of 0.3, indicating an absence of a significant relationship between gender and disability in this particular context. The observed r-value of 0.2 suggests a weak relationship between gender and the level of disability. Based on these findings, the null hypothesis is rejected and the alternative hypothesis is accepted. The results indicate that gender does not significantly influence the level of disability.

Another factor associated with back pain is gender; although the reasons why women experience back pain more often than men are not yet fully understood, the literature suggests possible links with anatomical, physiological and structural differences, hormonal changes, gynaecological issues, childbirth and household activities (Ayane et al., 2021). However, the present study found no significant relationship between gender and disability (p=0.3; r=0.2). This finding stands in contrast to the conclusions drawn from studies conducted by Banga et al., 2024; Ayane et al., 2021 and Tefera et al., 2021. The results of the present study are analogous to those of Zaitoon et al., 2024; Poorhaji et al., 2023; Rezaei et al., 2021, where gender did not engender significant differences in relation to back pain. Contrary to popular belief, men are not inherently better equipped to cope with challenging work environments. In fact, both male and female healthcare personnel face an equal risk of developing low back pain (Rezaei et al., 2021).

Table 4. The relationship between the level of disability and years of practice

			Age	Disability
Tau_b di Kendall		Correlation coefficient	1.000	.168
	Disability	Significance	.	.210
		N	38	38
	Practicing the	Correlation coefficient	.168	1.000
	profession	Significance	.210	.
		N	38	38

As demonstrated in Table No. 4, the data analysis yielded a p-value of 0.3, indicating an absence of a significant relationship between gender and disability in this instance. The observed r-value of 0.2 suggests a weak relationship between gender and the level of disability. Based on these findings, the null hypothesis is rejected and the alternative hypothesis is accepted. The results indicate that gender does not significantly influence the level of disability.

In addition, the professional factor of work experience was considered, with the hypothesis being that it would increase the chances of low back pain in healthcare personnel (Rezaei et al., 2021). However, the results of the study demonstrated that there was no significant relationship between years of work and the level of disability (r=0.1, p=0.2). This finding stands in contrast to the results of studies by Zaitoon et al. (2024) and Gilchrist et al. (2024), which reported a significant relationship between years of work and back pain. Our study's findings align with those reported by Mekonnen (2019). The findings suggest that employees with shorter tenure may have limited familiarity with safety procedures and control mechanisms, which can increase their vulnerability to work-related injuries (Mekonnen, 2019).

Table 5. The relationship between work shifts and disability levels

		Value	E.S. asint.[a]	T appross.[b]	Sig. appross.
Intervalore - Intervalore	R Pearson	.116	.111	.698	.490[c]

Ordinale - ordinale	Korrelacioni Spearman	.082	.144	.495	.624[c]
No. of valid cases		38			

	Value	df	Significant value
Chi-square of Pearson	2.300[a]	6	.890
Odds ratio	3.361	6	.726
Linear-linear connection	.494	1	.482
No. of valid cases	38		

As demonstrated in Table No. 5, the correlation coefficient R equals 0.1. This indicates a relationship between work shifts and the level of disability, thereby confirming the alternative hypothesis. The data indicates that the day shift is associated with a higher prevalence of disability.

Frequent overtime work and insufficient recovery time between shifts have been demonstrated to result in overload and fatigue, thereby reducing compliance and safety at work (Gilchrist et al., 2024).The present study indicated a significant association between shift work and long hours, and the possibility of back pain. This finding aligns with the conclusions of studies conducted by Gilchrist et al. (2024), Poorhaji et al. (2023), and Rezaei et al. (2021), which also identified shift work and extended work hours as contributing factors to back pain. Night shifts, defined as those performed between 7 pm and 7 am, have been shown to be associated with inadequate sleep duration, in contrast, those who work exclusively during morning hours are less likely to experience these consequences (Rezaei et al., 2021).

4. CONCLUSIONS

The health of healthcare workers is a matter of concern, with the prevalence of back pain being a significant contributing factor. The age of the workforce, the nature of shift work, and the duration of hours worked have been identified as key elements that can negatively impact the health of these individuals. It is therefore incumbent upon management to pay close attention to these issues.

In the context of the elderly, particular care should be exercised to ensure their well-being. This may entail the allocation of less strenuous tasks to this demographic and the strategic management of their work schedules, ensuring that they are not subjected to continuous shift work.

LIMITATIONS

The study's small sample size precludes it from being representative of the entire nursing population.

ACKNOWLEDGMENTS - We are very grateful to all participants for sharing their experiences.

AUTHOR CONTRIBUTIONS - Study conception, SM, JK; design, SM, JK; Data extraction, SM, JK; led the drafting of the manuscript, with the contribution of SM and JK. All authors revised the manuscript and approved the final version before submission.

FUNDING - This research received no external funding.

CONFLICT OF INTERESTS - The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. Ayane, D., Takele, A., Feleke, Z., Mesfin, T., Mohammed, S., & Dido, A. (2021). Low Back Pain and Its Risk Factors Among Nurses Working in East Bale, Bale, and West

Arsi Zone Government Hospitals, Oromia Region, South East Ethiopia, 2021 – Multicenter Cross-Sectional Study. J Pain Res. 2023;16:3005-3017. https://doi.org/10.2147/JPR.S410803

2. Banga, D., Samuel, T., Yihune, M., Bekele, G., Molla, E., Borie, Y. A., … Yeheyis, T. (2024). Prevalence of low back pain and associated factors among nurses working in public hospitals of Hawassa city, southern Ethiopia: A cross-sectional study. *Heliyon*, *10*(9). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30300
3. Gilchrist, A., Macková, D., & Pokorná, A. (2024). Cross-cultural comparison of low back pain in the nursing workforce: A pilot study. *International Journal of Nursing Practice*, 30(6), e13292. https://doi.org/10.1111/ijn.13292
4. Liu Q, Liu X, Lin H, Sun Y, Geng L, Lyu Y and Wang M (2023) Occupational low back pain prevention capacity of nurses in China: A multicenter cross-sectional study. *Front. Public Health* 11:1103325. doi: 10.3389/fpubh.2023.1103325
5. Mekonnen T. H. (2019). Work-Related Factors Associated with Low Back Pain Among Nurse Professionals in East and West Wollega Zones, Western Ethiopia, 2017: A Cross-Sectional Study. *Pain and therapy*, *8*(2), 239–247. https://doi.org/10.1007/s40122-019-0129-x
6. Mirzamohammadi E, Ghandhari H, Pirbornatan M, Mohammadi S, Hosseininejad M. Assessment of disability levels in patients with low back pain based on the type of lumbar spinal disorder. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2021;34(1):131-137. doi:10.3233/BMR-191679
7. Nkhata LA, Brink Y, Ernstzen D, Louw QA. Cross-cultural validation and formulation of key evidence-based back pain messages for Zambian nurses. *J Eval Clin Pract*. 2024; 30: 965-976. doi:10.1111/jep.14004
8. Poorhaji, N., Habibi, E., Pourabdian, S., & Yadegarfar G. (2022). The effect of low back pain on functional disability and work limitation in iranian nurses working in hospital. Int J Env Health Eng,11:5. https://doi.org/10.4103/ijehe.ijehe_16_21
9. Rezaei, B., Mousavi, E., Heshmati, B., & Asadi, S. (2021). Low back pain and its related risk factors in health care providers at hospitals: A systematic review. Annals of medicine and surgery (2012), 70, 102903. https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.102903
10. Tefera BZ, Zeleke H, Abate A, Abebe H, Mekonnen Z, et al. (2021) Magnitude and associated factors of low back pain among nurses working at intensive care unit of public hospitals in Amhara region, Ethiopia. PLOS ONE 16(12): e0260361. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260361
11. Tosunoz, I. K., & Oztunc, G. (2020). Effects of low back pain on functional disability level and quality of life in nurses working in a university hospital. International Journal of Caring Sciences, 13(3), 2131.
12. Yoshimoto, T., Oka, H., Ishikawa, S., Kokaze, A., Muranaga, S., & Matsudaira, K. (2019). Factors associated with disabling low back pain among nursing personnel at a medical centre in Japan: a comparative cross-sectional survey. *BMJ open*, *9*(9), e032297. https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-032297
13. Zaitoon, R.A., Said, N.B., Snober, R.H. et al. Low back pain prevalence and associated factors among nurses: cross sectional study from Palestine. BMC Public Health 24, 3076 (2024). https://doi.org/10.1186/s12889-024-20481-1

BİTLİS İLİNDE GELENEKSEL BESLENME ALIŞKANLIKLARI VE MİDE KANSERİ RİSKİ

Dr.Öğr.Üyesi Cihan ÖNEN
Bitlis Eren Üniversitesi/Sağlık Bilimleri Fakültesi
cihan_nen@yahoo.com
https://orcid.org/0000-0002-9159-7396

ÖZET

Bitlis ilinde, yüksek rakım ve karasal iklimin etkisiyle uzun süren kış koşulları, geleneksel beslenme alışkanlıklarını şekillendirmiştir. Bu alışkanlıklar arasında tuzlu ve salamura gıdalar ile et ağırlıklı yemekler yaygın olarak tüketilmektedir. Yöresel besinler arasında tuzlu peynir, kurut ve etli yemekler (avşor, büryan) ön plandadır. Ancak, bu besinlerin aşırı tüketimi sağlık üzerinde olumsuz etkilere yol açabilmektedir. Özellikle mide kanseri riski artabilmekte, tuzlu ve salamura gıdalar ile yüksek et tüketimi, mide hastalıklarının yaygınlaşmasına neden olabilmektedir. Bunun yanı sıra, kurutulmuş balıklarda omega-3 içeriği de azalmaktadır, bu da kanser riskini artırabilir. Bitlis'teki geleneksel beslenme alışkanlıklarının sağlık üzerindeki etkilerini azaltmak için toplumsal bilinç artırılmalı ve tuzlu gıda tüketimi kısıtlanmalıdır. Taze balık lojistiği sağlanarak, kurutulmuş balık tüketiminin azaltılması teşvik edilmelidir. Et tüketimi ise taze yeşil yapraklı gıdalarla dengelenmeli; sebze üretimi artırılmalı ve temini kolaylaştırılmalıdır. Özellikle Muş Ovası ve Ahlat bölgesi, çağdaş tarım için uygun alanlar sunmaktadır. Ayrıca, Bitlis'teki beslenme alışkanlıklarının sağlık üzerindeki uzun dönemli etkilerini daha iyi anlamak için epidemiyolojik ve klinik araştırmalar yapılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitlis, Geleneksel Beslenme, Mide Neoplazileri, Gıda Sunumu, Tuz Tüketimi

TRADİTİONAL DİETARY HABİTS AND GASTRİC CANCER RİSK İN BİTLİS PROVİNCE

ABSTRACT

In Bitlis province, prolonged winter conditions shaped by high altitude and a continental climate have influenced traditional dietary practices. These habits include the frequent consumption of salted and pickled foods as well as meat-based dishes. Among the local foods, salted cheese, kurut (dried yogurt product), and meat dishes such as avşor and büryan are prominent. However, excessive consumption of these foods may have adverse health effects. In particular, the risk of gastric cancer may increase, as high intake of salted, pickled foods and red meat contributes to the prevalence of gastric diseases. Additionally, a reduction in omega-3 content has been observed in dried fish, which may further elevate cancer risk. To mitigate the health

impacts of traditional dietary habits in Bitlis, public awareness should be raised, and the consumption of salty foods should be restricted. The logistics of fresh fish supply should be improved to reduce reliance on dried fish. Meat consumption should be balanced with fresh green leafy vegetables, and vegetable production should be increased to ease access. Particularly, the Muş Plain and Ahlat region offer suitable areas for modern agriculture. Furthermore, epidemiological and clinical studies are recommended to better understand the long-term health effects of dietary practices in Bitlis.

Keywords: Bitlis, Traditional Diet, Gastric Neoplasms, Food Preservation, Salt Intake

1. KIŞ ŞARTLARININ ŞEKİLLENDİRDİĞİ GELENEKSEL BESLENME ALIŞKANLIKLARI VE SIK TÜKETİLEN YÖRESEL BESİNLER

1.1. Bitlis İlinin Kış Şartları ve Yöresel Beslenme Alışkanlıkları

Bitlis ili, yüksek rakıma (1605 m) sahip olup, karasal iklimin etkisi altındadır. Bu iklim tipi, kış aylarında uzun süreli soğuk hava ve yoğun kar yağışı ile kendini gösterir. İlde kış mevsimi genellikle erken başlar ve geç biter, bu da kış koşullarının uzun bir süre boyunca devam etmesine neden olur (Bitlis İl Tarım ve Orman Müdürlüğü). Bitlis'te uzun süren kış koşulları nedeniyle, gıdaların dayanıklılığını artırmak amacıyla tuzlama ve kurutma yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, kurut (tuzla kurutulmuş ayran aşı), salamura balık, salamura yaprak sarma ve tuzlu peynir gibi yüksek tuz içeriğine sahip besinler sık tüketilmektedir. Ayrıca, avşor, büryan, mumbar gibi et ağırlıklı yemekler de bölge mutfağının önemli bir parçasıdır.

1.2. Bitlis’te Sık Tüketilen Yöresel Besinler

Bitlis ilinde, bölgedeki geleneksel beslenme alışkanlıkları çeşitlilik göstermekte ve zengin bir mutfak kültürüne sahiptir. Bitlis ilinde yöresel besinlerin sık tüketim sıklığına bakıldığında, en fazla tüketilen besinler arasında Yöresel Peynir (%49,4) ve Kurut (%42,2) yer almaktadır. Bu besinleri takiben Yaprak Basma (%15,0), Avşor (%15,5) ve Büryan (%12,3) sıkça tüketilenler arasında bulunuyor.

Çizelge 1. Bitlis’te Sık Tüketilen Yöresel Besinler (Önen & Güneş, 2019)

Besin	**Sayı**	**(%)**
Yöresel Peynir	366	49,4
Kurut	313	42,2
Yaprak Basma	111	15,0
Avşor	115	15,5
Büryan	91	12,3
İşkembe / Bumbar	71	9,6
Balık Kurutma	66	8,9
Un Helvası	48	6,5
Balık Salamura	33	4,5

2. MİDE ÜZERİNE OLASI ETKİLERİ

Bitlis, özellikle kış aylarında yoğun kar yağışıyla geçen iklimi ve dağlık, kırsal coğrafyasıyla bilinen bir bölgedir. Bu nedenle beslenme tarzının iklim ve arazi koşullarına bağlı olarak şekillendiği görülmektedir. Yöresel besinlerin tüketiminin, bu bölgedeki kanser risk faktörlerini etkileyebileceği düşünülmektedir. Nitekim, Bitlis ilinde geleneksel beslenme alışkanlıklarının sağlık üzerinde olumsuz etkileri olabileceğini gösteren kanıtlar mevcuttur.

2.1. Bitlis'te Mide Kanserinde Artış Gözlenmekte

Bitlis'te mide kanseri vakalarında son yıllarda artış gözlemlenmiştir. Op. Dr. Doğan, kısa bir süre içinde hastaneye başvuran 6 hastaya mide kanseri tanısı konulduğunu ve bu durumun bölge için yüksek bir oran olduğunu belirtmiştir. Mide kanserinin başlıca nedenleri arasında radyasyon, bozulmuş ve közlenmiş gıdalar, kömürleşmiş gıda tüketimi, aşırı turşu ve salamura tüketimi yer almaktadır (Milliyet, 2017).

2.2. Bitlis'te Tuzlu, Korunmuş Sebze Tüketimi ve Olası Mide Kanseri Riski

Çin'de yapılan bir çalışmada, çoğunlukla tuzlu sebze tüketilen bölgelerde korunmuş sebze tüketiminin mide kanseri artışıyla ilişkili olduğu saptanmıştır (Yu ve ark., 2024). Benzer şekilde, Bitlis'te de tuzlu ve salamura edilmiş sebzelerin geleneksel olarak sık tüketildiği bilinmekte, bu durumun mide kanseri riskini etkileyebileceği düşünülmektedir.

2.3. Beslenme, Kanser Riski ve Bitlis'in Et Bazlı Yemekleri

Dünyada kanserin önemli nedenlerinden biri sağlıksız beslenme alışkanlıklarıdır. Amerikan Kanser Araştırma Enstitüsü'ne göre, sağlıklı beslenme, kilo kontrolü ve düzenli fiziksel aktivite ile kanserlerin %30-40'ı önlenebilir. Yağlı kırmızı et tüketiminin azaltılması, taze sebze ve meyve tüketiminin artırılması ve lifli gıdaların daha fazla tüketilmesi, kanserlere karşı koruyucu etki göstermektedir (Ekici, Sağdıç, & Yetim, 2021). Türkiye'nin Güneydoğu ve Doğu Anadolu bölgelerinde mide kanserine sık rastlanmaktadır. Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Hastanesi'nde 2004-2005 yılları arasında onkoloji biriminde yapılan bir çalışmada, tandır fırın ekmeği (ateşte veya közde pişmiş) ve yağ tüketiminin mide kanseri ile anlamlı bir ilişki gösterdiği belirlenmiştir (Kemeç & Işıkdoğan, 2020). Büryan (yavaş pişirilmiş kuzu eti), avşor (büryan yağı ve tuzla hazırlanan bir yemek) ile karın ve mumbar (hayvan iç organlarının kullanıldığı yemekler), Bitlis mutfağının öne çıkan et bazlı lezzetlerindendir.

2.4. Bitlis'teki Yüksek Et Tüketimi ve Tuzlu Gıdaların Mide Hastalıkları ile İlişkisi: Yüksek İrtifa Koşullarının Etkisi

Yüksek irtifa bölgelerinde Helicobacter pylori enfeksiyonunun prevalansı, deniz seviyesindeki bölgelere göre daha yüksektir. Ayrıca, diyet ve yaşın mide hastalıklarının şiddetiyle ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. Yüksek et tüketimi, bitki bazlı diyete kıyasla daha yüksek metaplazi insidansıyla ilişkilidir. Bu bulgular, et tüketiminin mide kanseri ve diğer mide hastalıkları için önemli bir risk faktörü olduğunu ve yüksek irtifa koşullarının bu durumu etkileyebileceğini göstermektedir. Bitlis'te de etli ürünler, kurutulmuş et, salamura gıdalar ve tuzlu yiyeceklerin yaygın tüketimi, mide hastalıklarıyla ilişkilidir ve kanser riskini artırabilecek faktörlerdir (Requena ve ark., 2024).

2.5. Van Kefali Kurutulması: Omega-3 Kaybı ve Kanser Riskleri Üzerindeki Etkiler

Bitlis'te geleneksel yöntemlerden biri, Van Gölü'nden elde edilen kefal balığının kurutulmasıdır. Kurutma işlemi, balığın nem içeriğini azaltarak raf ömrünü uzatmakla birlikte, lipit oksidasyonunu hızlandırabilir. Yapılan çalışmalara göre, kurutulmuş balıkta omega-3 / omega-6 oranı düşmektedir (Tenyang ve ark., 2020). Van kefali, taze halinde iyi bir omega-3 kaynağı olarak belirlenmiştir (Mısır, Kutlu & Çibuk, 2013). Ancak, Van kefalinin kurutulması sırasında omega-3 yağ asitlerinin oksidatif bozulmaya karşı hassas olduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, kurutma işlemi balığın raf ömrünü uzatmakta; ancak besin değerinde, özellikle omega-3 düzeylerinde kayıplara neden olabilmektedir. Düşük omega-3 alımı, özofagus ve mide kanseri mortalite risklerini artırabilmektedir. Kadınlarda düşük omega-3 alımı, mide kanseri ölümlerinin %38'inden sorumlu olabilmektedir (Moallemian Isfahani ve ark., 2025).

3. GENEL DEĞERLENDİRME, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bitlis ilinde, geleneksel beslenme alışkanlıkları, özellikle tuza basılmış ile korunmuş gıdalar ve et ağırlıklı yemeklerin fazla tüketilmesi, sağlık üzerinde olumsuz yansımaları olabilmektedir. Mide kanseri gibi ciddi hastalıkların riskini artırabilmektedir. Ayrıca, geleneksel kurutulmuş balıkların omega-3 kaybına uğraması, besin değerinin düşmesine ve kanser riskinin artmasına yol açmaktadır.

Öneriler:

- Toplumsal bilinç artırılarak tuzlu ve salamura gıda tüketimi azaltılmalıdır.
- Bölgeye taze balık lojistiği sağlanarak, kurutulmuş balık tüketiminin azaltılması teşvik edilmeli ve omega-3 alımı artırılmalıdır.
- Et tüketimi azaltılarak, taze yeşil yapraklı gıdaların tüketimi teşvik edilmeli, üretimi artırılmalı ve lojistiği desteklenmelidir. Özellikle Muş Ovası ve Ahlat bölgesi, çağdaş tarım için uygun alanlardır.
- Bitlis'teki beslenme alışkanlıklarının sağlık üzerindeki uzun dönemli etkilerini incelemek için daha fazla epidemiyolojik ve klinik araştırma yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

1. https://bitlis.tarimorman.gov.tr/Menu/16/Ilimiz? (Erişim Tarihi: 30.04.2025)
2. Ekici, L., Sağdıç, O., & Yetim, H. (2021). *Et Tüketimi ve Kanser*. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28(2), 136-145
3. Kemeç, Z., & Işıkdoğan, A. (2020). *Mide Kanseri ve Beslenme*. Dicle Tıp Dergisi, *47*(2), 455-468. https://doi.org/10.5798/dicletip.755775
4. https://www.milliyet.com.tr/yerel-haberler/bitlis/uzmanlar-bitlis-bolgesindeki-mide-kanseri-artisina-dikkat-cekiyor-11871941 (Erişim Tarihi: 28.05.2025)
5. Mısır, G.B., Kutlu, S., & Çibuk, S. (2013). *Determination of Total Lipid and Fatty Acid Composition of Pearl Mullet (Chalcalburnus tarichi, Pallas*

1811). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, *13*, 777-783. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_5_01

6. Moallemian Isfahani, M., Dalvand, S., Raei Dehaghi, N., Sharafkhah, M., Sepanlou, S. G., Hashemian, M., Poustchi, H., Sadjadi, A., Roshandel, G., Khoshnia, M., Delavari, A., & Rezaei, N. (2025). *Population Attributable Fraction Of Dietary Risk Factors for Cancer Mortality with A Focus on Gastrointestinal Cancers İn A Population-Based Cohort Study.* Scientific Reports, *15*(1), 4932. https://doi.org/10.1038/s41598-025-89183-x

7. Önen, C., & Güneş, G. (2019). *Relationship Between Regional Food and Hypertension in The East of Turkey*. International Journal of Community Medicine and Public Health, 6(6), 2306–2312. https://doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20192289

8. Requena, D., Ribas, E., Gilman, R. H., Cabrera, L., Cok, J., Barriga-Rivera, W., Combe-Gutiérrez, J., Vargas-Cardenas, G., Seidelmann, L., & Miele, C. H. (2024). *Effects Of High Altitude and Diet on Gastric Disease Severity in Helicobacter Pylori Infection in Peru.* Helicobacter, *29*(6), e13147. https://doi.org/10.1111/hel.13147

9. Tenyang N, Ponka R, Tiencheu B, Djikeng FT, Womeni HM. *Effect Of Traditional Drying Methods on Proximate Composition, Fatty Acid Profile, and Oil Oxidation of Fish Species Consumed in The Far-North of Cameroon*. Glob Chall. 2020 Apr 15;4(8):2000007. https://doi.org/10.1002/gch2.202000007

10. Yu W, Ke Y, Lv J, Sun D, Pei P, Yang L, Chen Y, Du H, Xie K, Yang X, Barnard M, Chen J, Chen Z, Li L, Yu C. China Kadoorie Biobank Collaborative Group. *Preserved vegetable consumption and gastrointestinal tract cancers: A prospective study*. J Glob Health. 2024 Nov 8;14:04191. https://doi.org/10.7189/jogh.14.04191

NUCK KANAL KİSTİ OLGU SUNUMU

Dr Ahmet SAVRAN

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi

dralpagut96@gmail.com - ORCID ID: 0009-0008-2707-8488

Doç Dr Faruk PEHLİVANLI

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi

drfarukpehlivanli@kkü.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-2175-8756

Prof Dr Oktay AYDIN

Kırıkkale Üniversitesi Tıp Fakültesi

droktayaydin@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-5728-0128

ÖZET

Nuck Kanalı kisti, kadınlarda nadir görülen ve inguinal bölgede ağrı ve şişliğe neden olabilen konjenital bir anomalidir. Uterusun round ligamanı inguinal kanaldan giderek labium majusa ulaşır. Periton kıvrımı eğer yaşamın ilk yıllarında kapanmazsa Nuck kanal kisti gelişebilir. Ayırıcı tanıda inguinal herni ve lenfadenopatilerle karışabileceği düşünülmelidir. Bu sunulan olguda, sol inguinal bölgede tekrarlayan şişlik ve ağrı şikayetleriyle başvuran, daha önce herni onarımı geçirmiş kırkdört yaşındaki bir kadın hastanın tanı ve tedavi süreci sunulmuştur. Hastada önceden geçirilmiş cerrahi öykü ve postoperatif komplikasyonların ardından yapılan görüntüleme çalışmaları, Nuck Kanalı kisti tanısını desteklemiş ve kist eksizyonu ile birlikte herni onarımı uygulanmıştır. Olgumuz, Nuck Kanalı kisti gibi nadir patolojilerin doğru tanısı ve cerrahi yönetimi açısından literatür bilgilerini destekler niteliktedir.

Anahtar Kelimeler: Nuck kanal, inguinal herni, processus vaginalis

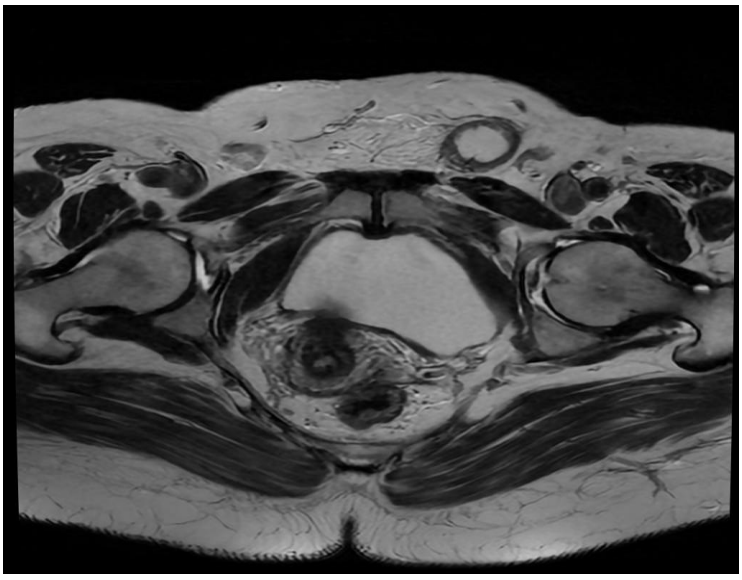
GİRİŞ

Nuck kanalı kadınlarda proccessus vaginalisin inguinal kanalda açık kaldığı ve ilk kez Anton Nuck tarafından tanımlanmış olan embriyolojik bir patolojidir [1]. Normalde processus vaginalis, yaşamın ilk yıllarında obliterasyona uğrar; ancak açıklık devam ettiğinde Nuck Kanalı kisti oluşabilir. Bu nedenle, Nuck kanalının anormallikleri çoğunlukla genç hastalarda görülür [2]. İnguinal bölge anatomisini ve embriyolojisini bilmek hernileri ve diğer hastalıkları tanımlamak ve doğru tedavi etmek için önemlidir. İnguinal patolojileri kabaca konjenital

anormallikler, konjenital olmayan herniler, vasküler durumlar, enfeksiyöz veya inflamatuar süreçler ve neoplazmalar olarak gruplandırabiliriz [3]. İnguinal bölgede olan patolojilerde sınıflandırarak tanıya gitmek doğru tedavi için ışık tutar. Bu olgu sunumumuz kırk dört yaşında tanı alan bir hastayı ele alırken, inguinal bölgede şişlikle gelen kadın hastalarda ayırıcı tanıda nuck kanal kistinin de akla gelmesi gerektiğini vurgulamak amacıyla yazılmıştır.

OLGU SUNUMU

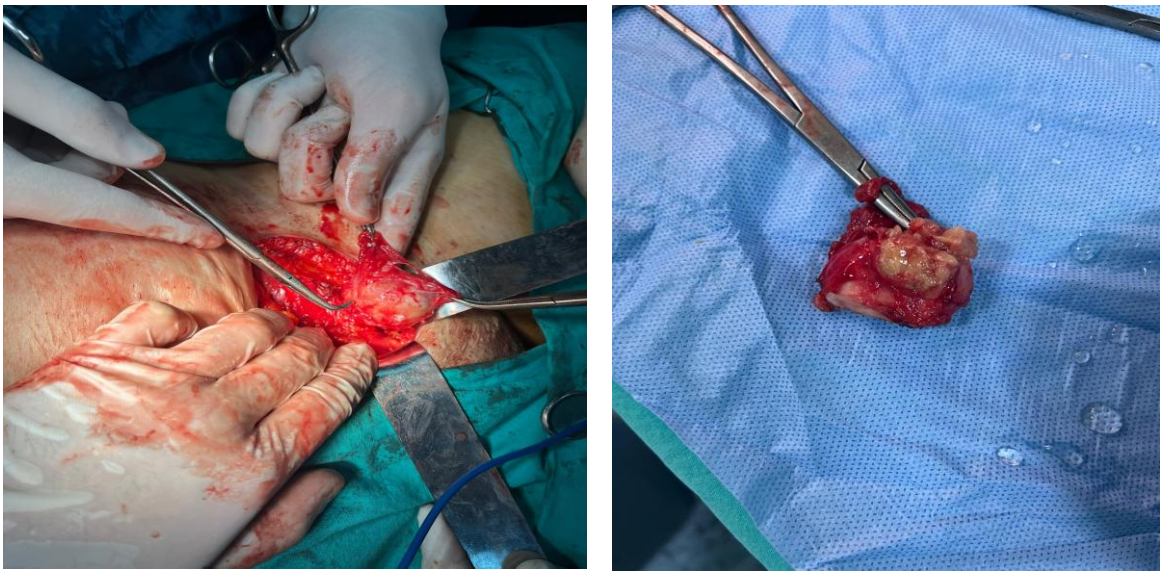
Kırk dört yaşında bilinen tip-2 diyabetes mellitus tanılı, oral antidiyabetik+insülin tedavisi ile kan şekeri regüle edilip takip edilen hasta 2024 yılı ocak ayında sol inguinal bölgede şişlik ve ağrı şikayeti ile genel cerrahi polikliniğine başvurdu. Öksürmekle herniye dokunun palpe edilmesi üzerine yapılan sol inguinal bölge yüzeyel ultrasonografisinde; sol inguinal bölgede 1cm fasya defektinden yağlı doku herniasyonu olduğu görüldü. Elektif şartlarda operasyon planlandı. Şubat ayında greftsiz sol inguinal fıtık onarımı yapıldı. Post operatif ikinci gününde hasta şifa ile taburcu oldu. Taburculuk sonrası on ikinci günde insizyon hattında ağrı kızarıklık nedeniyle tekrardan başvurdu ve sol yüzeyel ultrasonografi çekildi. İçerisinde septalar barındıran lokule alanların görülmesi üzerine hasta hospitalize edilerek eski insizyon hattından 2 cm insizyon açılarak cilt altı mayi drene edildi ve uygun antibiyoterapi tedavisi başladı. Drenaj sonrası takiplerden sonra dren yerleştirilerek suture edilip drenajın bitmesi üzerine hasta şifa ile taburcu edildi.



Görsel-1: Manyetik rezonans görüntülemede sol inguinal kanalda 27 mm çapında kalın duvarlı periferal kontrastlanma gösteren Nuck kanal kisti

İlk operasyondan bir yıl kadar sonra hastanın eline sol inguinal bölgede pubik bölgeye yakın şişlik gelmesi üzerine tekrardan genel cerrahi polikliniğine başvurdu. Palpasyonla ele kitle gelmesi üzerine hastanın geçmişteki operasyon ve komplikasyonları da göz önüne alınarak nuck kanal kisti ön tanısı ile kontrastlı pelvik manyetik rezonans görüntüleme yapıldı. Yapılan manyetik rezonans görüntüleme sonucunda; sol inguinal kanalda 27 mm çapında kalın duvarlı

periferal kontrastlanma gösteren kistik lezyon görülmüş olup Nuck kanal kisti lehine yorumlanmıştır (Görsel-1). Preoperatif hazırlıklara başlandı. Laboratuar bulgularında akut faz reaktanları negatif olup tahlil sonuçlarında anlamlı patoloji görülmedi. Elektif şartlarda ilgili branşların önerilerine uygun preoperatif hazırlıklar tamamlanınca hasta spinal anestezi altında sol inguinal insizyon yapılarak değerlendirildi. Transvers fasyada gevşeklik görüldü. İnsizyon hattında pubik bölgeye yakın yaklaşık 2*2 cm lezyon görüldü ve eksize edildi (Görsel 2-3). Daha sonra transvers fasya güçlendirilip prolen mesh tespit etmek suretiyle vaka tamamlandı. İntraoperatif komplikasyon gelişmedi. Hastanın post operatif takiplerinde komplikasyon gelişmedi. Post operatif birinci gün şifa ile taburcu edildi.



Görsel 2-3: İnsizyon hattında pubik bölgeye yakın yaklaşık 2*2 cm lezyon

TARTIŞMA

Erkekte fetal gelişim esnasında, testisler her iki inguinal kanaldan, peritoneal kese ile skrotuma inerler [4]. Yaşamın ilk yılında fibröz bir korda dönüşür, kapanır ve testisin çevresini tunica vaginalis olarak çevreler, böylelikle abdominal boşlukla scrotum arasındaki bağlantı kesilmiş olur [5]. Peritonun bu uzantısı kapanmazsa, defektin boyutuna bağlı olarak sıvı veya batın içi organlar inguinal kanala girebilir ve bu da hidrosele veya fıtığa neden olabilir [5]. Dişi fetal gelişimde, uterusun round ligamenti inguinal kanaldan labium major'a iner. Round ligamen boyunca aşağı inen periton kıvrımına Nuck kanalı adı verilir. Yaşamın ilk yılında bu bağlantı kapanmazsa, fıtık veya hidrosele de neden olabilir, neticede nuck kanalı kistine kadın hidroseli de denebilir [4,5].

Embriyonik Nuck Kanalı yolu boyunca yer alması, valsalva manevrası sırasında boyutunda önemli bir değişiklik olmamasıyla ayırt edilir ve inguinal bölgede enfektif bulguların olmaması da tanıyı destekler [6].

Nuck kanalı kisti cerrahi ve jinekolojik literatürde nadiren kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır ve tıp uygulayıcıları arasında nispeten yabancı bir durum olmaya devam etmektedir. Ultrasonografi, Nuck kanalı hidroselini diğer durumlardan ayırt etmek için değerli bir birinci basamak görüntüleme aracıdır ve mümkün olduğunda manyetik rezonans görüntüleme ile desteklenebilir ancak kesin tanı ve tedavi genellikle tam hidroselektomiyi içerir eğer inguinal herni mevcutsa hernioplasti gerekir, kist aspirasyonunun tedavide yeri yoktur [7,8]. Bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntülemenin ultrasonografiye göre; inguinal bölgedeki kist, kitle ya da herniye dokuların ayırt edilebilmesinde ve batın içi ile bağlantısını değerlendirilmesinde üstünlüğü mevcuttur [10]. Bizim olgumuzda da daha önceden herni nedeniyle ameliyat edilmiş fakat daha sonradan yapılan ultrasonografi ve magnetik rezonans görüntüleme ile tanıya gidilmiştir.

Sonuç olarak ingiunal bölge patolojilerinde kadın hastalarda ağrılı ya da ağrısız şişlik durumunda inguinal ve femoral hernilerin yanısıra kapanmamış proccessus vaginalis, Nuck kanal patolojileri de akla gelmelidir [8]. Literatürde bildirilen vakalar, Nuck kanal kistinin tanı ve tedavisinde cerrahi eksizyonun etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Örneğin, Prodromidou ve arkadaşları, erişkin kadınlarda Nuck kanal kistinin cerrahi eksizyonla başarılı bir şekilde tedavi edildiğini bildirmiştir [9]. Ayrıca, laparoskopik cerrahi yöntemlerin de Nuck kanal kistinin tedavisinde etkili olduğu gösterilmiştir [10]. Nuck kanal kistinin anatomik lokalizasyonuna göre labium, inguinal kanal içerisinde ya da batın içinde yerleşmiş olması vakaya açık ya da laparoskopik yaklaşım yöntemini belirleyicidir [11]. Bizim olgumuzda da daha önceden geçirilmiş cerrahi nedeniyle açık ameliyat tercih edilmiştir.

Olgumuzda patoloji sonucu; mixt tip iltihabi inflamasyon içeren granülasyon dokusu ile karakterize fibroadipoz doku örneği; Nuck kanal kisti eksizyonel biyopsi olarak raporlanmıştır. Sunduğumuz bu vaka ilginçtir ki, hastanın inguinal hernisi olup transvers fasya onarımının ardından seroma/inflame mayi gelişmiş olup daha sonrasında nuck kanal kistinin manyetik rezonans görüntülemede görülmesi ve nüks inguinal herni olması vakayı nadir rastlanır bir hale getirir.

SONUÇ

Nuck Kanalı kisti, kadınlarda nadir görülen ve inguinal bölgede ağrı ve şişliğe neden olabilen konjenital bir anomalidir. Ayırıcı tanıda inguinal herni, lenfadenopatiler,kistler ve tümöral kitlelerle karışabileceği unutulmamalıdır. Olgular genelde şişlik, ağrı, kızarıklık gibi değişik şikayetlerle başvurabilirler. Hastamızda önceden geçirilmiş cerrahi öykü ve postoperatif komplikasyonların ardından yapılan görüntüleme çalışmaları, Nuck Kanalı kisti tanısını desteklemiş, kist eksizyonu ile birlikte herni onarımı uygulanmıştır. Hastaların yönetiminde ve tanıda radyoloji ile cerrahi bölümleri arasında yakın işbirliği gereklidir. Zamanında tanı ve tedavi başarının anahtarıdır.

KAYNAKÇA

1. Nasser, H., King, M., Rosenberg, H. K., Rosen, A., Wilck, E., & Simpson, W. L. (2018). Anatomy and pathology of the canal of Nuck. *Clinical imaging*, *51*, 83-92.
2. F. Rosa, C. Martinetti, M.A. Veirana, et al., How embryology knowledge can help radiologists in the differential diagnosis of canal of Nuck pathologies, Radiol. Med. 126 (7) (2021) 910–924.
3. Shadbolt, C. L., Heinze, S. B., & Dietrich, R. B. (2001). Imaging of groin masses: inguinal anatomy and pathologic conditions revisited. *Radiographics*, *21*(suppl_1), S261-S271.
4. Aybala AGAC, A. Y., HALAÇLAR, B., Ahmet, A. Y., & TURGUT, O. (2015). İnguinal Kitle Ayırıcı Tanısında Nuck Kanal Hidroseli. *Journal of Kartal Training & Research Hospital/Kartal Egitim ve Arastirma Hastanesi Tip Dergisi*, *26*(1).
5. Janssen, K., & Klinkner, D. (2011). Encysted hydrocele of canal of Nuck: a case report with review of literature. *Journal of Surgical Technique and Case Report*, *3*(2).
6. Lukanova, T., Takorov, I., Todorova, E., & Dzakova, A. (2024). Cyst of the Canal of Nuck: a case report. *Journal of Surgical Case Reports*, *2024*(5), rjae374.
7. Nava, C. M., Geng, B., Litchinko, A., Jaccard, C., & Egger, B. (2025). Cyst of the canal of Nuck in an adult female patient: A case report on surgical management. *International Journal of Surgery Case Reports*, *126*, 110807.
8. Badak, B., & İhtiyar, E. (2019). Nuck Kanal Hidroseli. *Osmangazi Tıp Dergisi*.
9. Prodromidou, A., Paspala, A., Schizas, D., Spartalis, E., Nastos, C., & Machairas, N. (2020). Cyst of the Canal of Nuck in adult females: A case report and systematic review. *Biomedical Reports*, 12(4), 333–338.
10. Yamada, T., Yoshida, H., Taniai, N., & Tajiri, T. (2021). Laparoscopic surgical treatment for hydrocele of canal of Nuck. *Surgical Case Reports*, 7(1), 1–5.
11. Öztürk, D., Öztürk, B., Özkara, S., Mermer, R. L., & Öztaşan, D. (2023). Erişkinde multipl nuck kanal kisti; olgu sunumu. *Turkish Journal of Clinics and Laboratory*, *14*(3), 651-653.

PROTECTIVE EFFECT OF CHITOSAN FILM COATINGS IN FOOD

Lecturer Zeynep Şebnem Yakar
Gaziantep University, NTMYO Food Processing Department
e-mail: syakar@gantep.edu.tr,
OrcidNumber:0000-0001-7280-6829

Prof. Dr. Remziye Aysun Kepekçi

Gaziantep University, Faculty of Arts and Sciences, Biology
e-mail:aysun@gantep.edu.tr,
OrcidNumber: 0000-0002-7156-5741

SUMMARY

Chitosan, obtained from chitin, is considered one of the natural polysaccharides. It is an environmentally friendly biopolymer. Chitosan has attracted great attention in food preservation applications in recent years due to its functional activity. In recent research, "chitosan-based biofilms" have attracted attention in food preservation. Thanks to the content of chitosan, food surfaces can be coated directly or foods can be packaged in the form of bioactive films. It is a sustainable material for food preservation purposes. Thanks to its biodegradability, antioxidant and antimicrobial properties, it is used to preserve the sensory quality of foods and to extend shelf life by preventing microbial spoilage.

Its advantages are that it delays oxidative spoilage in foods and preserves nutritional value. Natural additives such as essential oils, plant extracts and phenolic substances can be used to increase the antimicrobial and antioxidant properties of the packaging. Chitosan is a promising material in the field of food packaging. Chitosan-based packaging enriched with natural additives offers an effective solution to extend the shelf life of foods and increase their safety.

Keywords: Chitosan, edible coating, biodegradable, food preservation

1. WHAT IS CHITOSAN AND HOW DOES IT OBTAINED?

Chitosan, derived from chitin, is considered one of the natural polysaccharides. It is an environmentally friendly biopolymer. Chitosan has attract attention in food preservation applications in recent years [1]. Chitosan is a polymer and obtained by deacetylation of natural chitin. It has various applications in plants. Non-toxicity, biodegradability, bioactivity, antimicrobial activity and bioadhesiveness make chitosan compatible [2].

Chitosan can be applied to food surfaces as a form of films and coatings. So, a protective barrier on the surface of the food occurs, reduce oxygen permeability and prevent microbial contamination [3]. In addition, chitosan delays oxidative deterioration in foods and preserve their nutritional value due to its antioxidant activity.

Biodegradable films are the most powerful ways of preserving food quality. Film-forming materials are usually based on proteins, polysaccharides, lipids, and resins, or a unity of these. Chitosan has the advantage of being able to incorporate functional substances such as minerals or vitamins and has antibacterial activity [4].
Raw material of chitosan is naturally occurring chitin-containing materials, such as crab, crustacean shells, shrimp flesh. The optional pretreatment is followed by a demineralization, then a deproteination step and finally deacetylation step. The acetyl group from N-acetylglucosamine (chitin) is removed. An amine group, yielding d-glucosamine (chitosan) is formed. Each step is followed by a washing step and the product is dried, at a temperature not more than 65° C. Known purification and grinding steps may also be used to produce the final product [5].

Chitosan-based membranes can be acquired by casting and solvent evaporation. The general process includes casting chitosan-acetic acid solution on a plate, evaporating the solvent, and coagulating by alkaline solutions or ammonia gas [6]. Chitosan-based membranes can also be directly coated on the surface of food materials or packaging materials. Spread coating, spray coating, dip coating, and immersing coating are the commonly used coating methods [6,7].

2. EXPERIMENTAL STUDIES and APPLICATIONS

2.1. PROTECTIVE MECHANISMS OF CHITOSAN

Chitosan has different molecular weight, viscosity, solubility, pKa value, film formation, biological activity and physical properties because of different degrees of deacetylation [8]. It also affects its biochemical and pharmacological implementation. Besides, other properties of chitosan include crystallinity, ash content, moisture content, heavy metal content, etc.

2.1.1. Antibacterial mechanism

Chitosan is a natural biopolymer with broad-spectrum antibacterial and antifungal properties. Its antimicrobial activity varies by some factors such as molecular weight (MW), degree of deacetylation, solution pH, concentration, and the type of target microorganism [9].

The main mechanisms for the antimicrobial effects of chitosan in the literature are as follows:

1-Physical Barrier Effect
2-Electrostatic Interaction
3-Chelation Mechanism
4-Intracellular Targeting

2.1.2. Antioxidant Properties

Lipid oxidation in food products results in the formation of volatile compounds, which contribute to unpleasant odors and may lead to the production of harmful substances. Its degree of deacetylation affects the antioxidant activity [10]. Beyond its inherent antioxidant properties, chitosan is frequently combined with other natural antioxidants—such as tea polyphenols, essential oils, and lactoperoxidase—to further enhance its effectiveness.

The antioxidant mechanisms of chitosan are generally attributed to three primary effects [9,10]:

1-Barrier Effect

2-Metal Chelation

3-Radical Scavenging

2.1.3. Enzyme Inhibitory Activity

Enzymatic reactions play a significant role in the degradation of food quality, contributing to softening, browning, and drip loss. Chitosan coatings have shown the ability to restrict enzymatic activity in food systems. Studies have shown that chitosan-treated samples of fruits like apples and medlar exhibit lower browning rates and reduced PPO (Polyphenylene oxide) activity compared to untreated ones. [11].

The potential mechanisms on enzymatic activity include [9,10]:

1-Direct Enzyme Binding:

2-Calcium Chelation:

3-Structural Protein Interaction:

4-Intracellular Interaction:

5-Oxygen Barrier Effect:

6-Microenvironment Modification:

2.1.4. Barrier Properties of Chitosan

Chitosan can act as a physical barrier on the surface of food products. This supplies to reduce spoilage. Its barrier properties against water vapor, oxygen, and carbon dioxide have been extensively studied. Studies have shown that chitosan films have excellent oxygen barrier properties under dry conditions [12]. The addition of nanomaterials (e.g., nano-TiO_2) has been reported to improve the oxygen and water vapor barrier properties. Chitosan films inherently exhibit poor resistance to water vapor, limiting their effectiveness in moist environments [13].

2.2. Chitosan Based Edible Coatings Supported with Bioactive Components

2.2.1. Bioactive Materials (Essential Oils)

The investigation of the application of bioactive substances such as essential oils (EOs) and plant extracts is an alternative for plastic packaging which extends shelf life. These natural components are safe for human and can improve the properties of chitosan [14]. The most commonly used EOs are tea ingredients, thyme, rosemary, oregano, coriander, cinnamon, lemon grass, clove, lemon balm, mint, eucalyptus, etc. which have inhibitory activity against various spoilage microorganisms because of phenolic groups [15,16].

2.2.2. Combination with Plant Extracts

The antioxidant and antimicrobial properties of chitosan coatings can be improved by addition of plant extracts. They can be obtained from various plant parts such as fruit, peel, seed, root, leaf, etc. The videly used extracts are pomegranate peel, ginger, garlic, green tea, karonda, phenolic acid, flavonoids, diterpene, tannins and so on [17,18].

The film properties can also be improved by waste products. The most commonly used organic wastes are agricultural, industrial, and food wastes. These can be obtained from peel, seeds, pulp, pods, pulp, peels, purees, leaves, peels, and straw [19,20].

2.2.3. Containment of Other Bioactive Components

Other bioactive components such as biopolymers, nanoparticles, plasticizers, crosslinkers, and antioxidant agents, improve the barrier, bioactive, mechanical properties, and shelf life of the membranes [21,22].

2.2.4. Incorporation of Nanomaterials and Plasticizers

Metal nanoparticles such as silver (Ag), gold (Au), copper (Cu) and zinc (Zn) have been widely used due to their antimicrobial activity against bacteria, fungi, protozoa and some viruses. They are incorporated into chitosan-based edible coatings [23]. Plasticizers (glycerol, glycerin, sorbitol) significantly affect the mechanical properties of coatings. Also increase performance of packaging materials by interacting with water molecules and biopolymers. The tensile strength of films is affected by its molecular weight and degree of deacetylation. Films produced from with a high degree of deacetylation show higher tensile strength and elongation compared to films with low deacetylation [24].

2.2.5. Optical Properties of Chitosan Films

In the food industry, UV radiation is used to sterilize food. Such actions expose packaged foods, especially those that are sensitive to light, to photo-oxidation. Literature data show that the addition of natural additives rich in phenolic compounds and additives such as ellagic acid, lychee pericarp powder into chitosan films increases their ability to absorb UV radiation, thus reducing their permeability [25,26].

2.3. CHITOSAN APPLICATION METHODS

Direct coating refers to the formation of a chitosan-based coating on the surface of foods and can be done using various methods such as dipping (immersion), brushing, spraying, and fluidized bed [27].

Bioactive packaging film is formally divided into two types, including packaging film produced by chitosan-based solution alone or in combination with food-grade plastic film to prepare multilayer or mixed structures. Bioactive packaging film is generally characterized by various properties, mainly visible properties, mechanical capacity, moisture resistance, barrier property, controlled release performance and stability [27].

LbL (Layer by Layer) assembly technique is a cyclic process based on the alternating deposition of oppositely charged polyelectrolytes, which is influenced by a number of

parameters such as material concentration, washing and drying steps, and solution pH. This repetitive work continues until a film with the desired thickness is obtained [28, 29].

3. RESULTS AND EVALUATION

There are several modified chitosan-based coating studies. Some of them are summarized as follows:

Meat Products: Chitosan and oleic acid coating was evaluated to extend the shelf life of fresh pork[30]. Chitosan and rosemary extract coating improved the physicochemical, microbiological and oxidative properties of beef [31]. Chitosan applications improved the microbiological quality of sausages and extended their shelf life [32]. The effect of chitosan coating on the shelf life of salmon fillets was evaluated and a slower increase in total aerobic bacteria count was observed [33,34].

Eggs: Researchers used water-soluble chitosan derived from shellfish to keep raw eggs fresh at room temperature for up to seven weeks. This coating increases food safety by preventing moisture loss and bacterial contamination [35].

Chitosan Films with Kumquat Peel Extract: In the study, edible and biodegradable films were developed by combining the peel extract of the kumquat fruit, which is rich in vitamin C, with chitosan biopolymer [36]. It was determined that the films had a more yellow and opaque appearance when the kumquat peel extract was added to the film [37].

Apple Peel Polyphenols and Chitosan Films: These films were examined by scanning electron microscopy, Fourier transform infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis. The physical properties of the films were improved in terms of thickness, density, solubility, opacity, swelling ratio and the antioxidant and antimicrobial activities increased [38].

In various studies, the properties of chitosan films have been improved by adding different plant extracts to them: Rosemary (*Rosmarinus officinalis*), Turmeric (*Curcuma longa L.*), Thyme, Pomegranate Peel, Green Tea [39]. The studies generally showed, increase in antibacterial and antioxidant activities, increase in mechanical strength, decrease in tensile strength and elongation at break [40,41].

4. GENERAL EVLUATION AND CONCLUSIONS

Raw material of chitosan is naturally occurring chitin-containing natural materials, such as crab, crustacean shells, shrimp flesh. It is obtained by different production techniques. Essential oils, polyphenols, pectin, starch, gelatin, pigments and minerals are taken from food by products and added to chitosan solution as microemulsion. By various methods, the final product is obtained and has better antibacterial and antifungal, barrier, appearance and textural properties.

In conclusion, chitosan-based edible films offer a promising and sustainable alternative to conventional synthetic packaging materials. Their excellent film-forming ability, biodegradability, and intrinsic antimicrobial and antioxidant properties make them particularly suitable for food preservation. Chitosan films effectively extend shelf life by reducing microbial growth and lipid oxidation, especially when combined with natural additives such as essential oils or plant polyphenols. Furthermore, the functionality of chitosan films can be tailored by modifying their molecular weight or degree of deacetylation, allowing for targeted applications across a wide range of food products. Continued research and innovation in formulation and application methods will be key to fully harnessing the potential of chitosan edible films in the food industry.

REFERENCES

[1] Liu, T.; Li, J.; Tang, Q.; Qiu, P.; Gou, D.; Zhao, J. Chitosan-Based Materials: An Overview of Potential Applications in Food Packaging. Foods 2022, 11, 1490.

[2] Younes I, Rinaudo M (2015) Kitin ve kitosan hazırlama deniz kaynaklarından Yapı özellikleri ve uygulamaları. Mar İlaçlar 13(3):1133–1174.

[3] Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. Materials Science and Engineering: C, 33(4), 1819–1841.

[4] Greener-Donhowe, I., & Fennema, O. (1994). Edible films and coatings: Characteristics, formation, definitions, and testing methods. In J. M. Krochta, E. A. Baldwin, & M. Nisperos-Carriedo (Eds.), Edible coatings and films to improve food quality (pp. 1–24). Lancaster, PA: Technomic Publishing

[5] Kurita, K. (2006). Chitin and chitosan: Functional biopolymers from marine crustaceans. Marine Biotechnology, 8(3), 203–226.

[6] Liu, T.; Li, J.; Tang, Q.; Qiu, P.; Gou, D.; Zhao, J. Kitosan Bazlı Malzemeler: Gıda Ambalajında Potansiyel Uygulamalara Genel Bakış. Gıdalar 2022 , 11 , 1490

[7] R. Suhag, N. Kumar, A.T. Petkoska, A. Upadhyay. Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. Food Research International, 136 (2020), Article 109582

[8] Kong, M., X. G. Chen, K. Xing, and H. J. Park. 2010. Antimicrobial properties of chitosan and mode of action: A state of the art review. CRITICAL REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND NUTRITION 3793 International Journal of Food Microbiology 144 (1):51–63. doi: 10. 1016/j.ijfoodmicro.2010.09.012.

[9] Kong, M., & Chen, X. G. (2015). Antimicrobial and antioxidant activities of chitosan and its derivatives. International Journal of Molecular Sciences, 16(1), 2693–2708.

[10] Shahidi, F., and Y. Zhong. 2010. Lipid oxidation and improving the oxidative stability. Chemical Society Reviews 39 (11):4067–79. doi: 10.1039/b922183m

[11] Singh, A., and S. Benjakul. 2018. Proteolysis and its control using protease inhibitors in fish and fish products: A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 17 (2): 496–509. doi: 10.1111/1541-4337.12337.

[12] Elsabee, M. Z., and E. S. Abdou. 2013. Chitosan based edible films and coatings: A review. Materials Science and Engineering: C 33 (4): 1819–41. doi: 10.1016/j.msec.2013.01.010

[13] Zhang, W., X. Li, and W. Jiang. 2020. Development of antioxidant chitosan film with banana peels extract and its application as coating in maintaining the storage quality of apple. International Journal of Biological Macromolecules 154:1205–14. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.275

[14] Coma, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. Meat Science, 78(1-2), 90–103.

[15] Ali, A., & Ahmed, S. (2018). A review on chitosan and its nanocomposites in drug delivery. International Journal of Biological Macromolecules, 109, 273–286. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.078

[16] Divya, K., & Jisha, M. S. (2018).Chitosan nanoparticles preparation and applications. Environmental Chemistry Letters,16(1), 101–112. https://doi.org/10.1007/s10311-017-0640-y

[17] Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. Materials Science and Engineering: C, 33(4), 1819–1841. https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.01.010

[18] Kanatt, S. R., Chander, R., & Sharma, A. (2012). Active chitosan–polyvinyl alcohol films with natural extracts. Food Hydrocolloids, 29(2), 290–297. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.03.005

[19] Sogut, E., & Seydim, A. C. (2020). Development of chitosan and polyphenol-incorporated active films for food packaging. Food Bioscience, 35, 100581. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100581

[20] Shukla, S., & Shukla, A. (2022). Valorization of agro-waste in development of edible films: A sustainable approach. Journal of Cleaner Production, 344, 131125.

[21] Hafsa, J., Smach, M. A., Charfeddine, B., Limem, K., Majdoub, H., & Rouabhia, M. (2023). Recent advances on chitosan-based films for active food packaging: Trends, applications, and perspectives. International Journal of Biological Macromolecules, 236, 124041.

[22] Kumar, S., Bhowmik, D., & Chandrasekaran, N. (2022). Nanocomposite edible films: Composition, properties, and applications in food packaging. Food Packaging and Shelf Life, 34, 100976.

[23] Rabea, E. I., Badawy, M. E. I., Stevens, C. V., Smagghe, G., & Steurbaut, W. (2003). Chitosan as antimicrobial agent: applications and mode of action. Biomacromolecules, 4(6), 1457–1465.

[24] Leceta, I., Guerrero, P., & de la Caba, K. (2013). Functional properties of chitosan-based films. Carbohydrate Polymers, 93(1), 339–346.

[25] Ziani, K., Oses, J., Mateo, J. J., & Pagán, R. (2018). Chitosan with natural additives as a potential UV-blocking film for food packaging. Heliyon, 4(6), e00653.

[26] Zhang, H., Han, Y., Li, D., & Mei, Z. (2021). Preparation and characterization of chitosan films containing lychee pericarp powder and their application as active food packaging. Foods, 10(11), 2834.

[27] Dawei Yu, Zijuan Yu, Wenyu Zhao, Joe M. Regenstein & Wenshui Xia (2022) Advances in the application of chitosan as a sustainable bioactive material in food preservation, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62:14, 3782-3797, DOI: 10.1080/10408398.2020.1869920

[28] Nguyen, M. H., & Kim, G. (2023). Chitosan/sodium alginate multilayer pH-sensitive films based on layer-by-layer self-assembly for intelligent packaging. Food Packaging and Shelf Life, 37, 100931.

[29] Richardson, J. J., M. Bjornmalm, and F. Caruso. 2015. Multilayer assembly. Technology-driven layer-by-layer assembly of nanofilms. Science 348 (6233):aaa2491. doi: 10.1126/science.aaa2491.

[30] lsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films and coatings: A review. *Materials Science and Engineering: C*, *33*(4), 1819–1841.

[31] Fernandes, R. V. B., Borges, S. V., & Botrel, D. A. (2014). Gum-based edible coatings in the preservation of fruits and vegetables: A review. *Ciência e Agrotecnologia*, *38*(6), 556–562. https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000600002

[32] Ojagh, S. M., Rezaei, M., Razavi, S. H., & Hosseini, S. M. H. (2010). Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry*, *120*(1), 193–198.

[33] Xing, R., Liu, S., Yu, H., Guo, Z., Li, C., Ji, X., ... & Li, P. (2009). Antibacterial and antioxidant properties of different molecular weight chitosan oligosaccharides. *Carbohydrate Polymers*, *78*(4), 787–791.

[34] Pranoto, Y., Rakshit, S. K., & Salokhe, V. M. (2005). Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *LWT - Food Science and Technology*, *38*(8), 859–865

[35] Al-Naji, L., Mohamad, S. H., & Manap, M. Y. (2019). Effects of chitosan-based coating on the storage stability of table eggs at ambient temperature. *Journal of Food Science and Technology*, *56*(8), 3612–3620.

[36] Siripatrawan, U., & Vitchayakitti, W. (2016). Improving functional properties of chitosan films as active food packaging by incorporating with propolis. *Food Hydrocolloids*, *61*, 695–702.

[37] Zhang, L., Tu, Z. C., Wang, H., Huang, X. Q., Liu, G. X., & Wang, H. (2019). Development and characterization of edible films based on chitosan incorporated with kumquat (Fortunella margarita Swingle) peel extract. *Food Packaging and Shelf Life*, *21*, 100359.

[38] Peng, Y., & Li, Y. (2014). Combined effects of apple polyphenols and chitosan on physical and antimicrobial properties of biodegradable composite film. *Carbohydrate Polymers*, *111*, 356–363.

[39] Divya, K., & Jisha, M. S. (2018). Chitosan nanoparticles preparation and applications. *Environmental Chemistry Letters*, *16*, 101–112

[40] Sahraee, S., Milani, J. M., Ghanbarzadeh, B., & Hamishehkar, H. (2017). Physicochemical properties of gelatin-based films incorporated with chitosan and natural antioxidants. *LWT - Food Science and Technology*, *76*, 292–302.

[41] Hosseini, M. H., Razavi, S. H., & Mousavi, M. A. (2009). Antimicrobial, mechanical, and barrier properties of gelatin-based edible films incorporated with oregano essential oil and natamycin. *Food Hydrocolloids*, *23*(5), 1329–1336.

NOVEL STRATEGIES FOR FAT REDUCTION IN FOOD PRODUCTS

Prof. Dr. Yeşim ELMACI
Ege University, Engineering Faculty
yesim.elmaci@ege.edu.tr - 0000-0001-7164-838X

Yağmur ÖZCAN
Ege University, Engineering Faculty
yagmurozcan1997@gmail.com - 0000-0002-6433-1939

ABSTRACT

Fats, which have an important place in human nutrition, play a role as the major energy source for the body due to their high-energy content. In addition, fats support the absorption of fat-soluble vitamins, protect the body's internal organs and increase the feeling of satiety. However, it is known that unbalanced fat intake leads to many health concerns such as obesity, high blood pressure, diabetes and other cardiovascular diseases. In recent years, health concerns related to excessive fat consumption have significantly influenced consumer purchasing behavior, resulting in a growing demand for low-fat products. Despite these health concerns, fat in food products is not only a source of energy but also plays a crucial role in the development of flavor, texture, shelf life and overall product acceptability. Therefore, ensuring the preservation of product quality is essential when reducing fat content in food formulations. Various strategies including fat mimetics, fat substitutes and fat modifiers, are employed to reduce fat content in food products. Since fat reduction techniques alone often cannot replicate all the functional properties of natural fat, a "systems approach" is recommended wherein combinations of ingredients and processing methods are employed to compensate for the functions lost during fat reduction in food products. Recent developments in fat reduction in food products have focused on the use of natural and clean-label ingredients due to consumer demand for minimally processed foods. Innovations in this field include the incorporation of plant-based fibers, novel protein sources, and the development of hybrid systems that combine various fat substitutes to achieve better functional properties. This study aims to provide comprehensive insights into strategies and novel approaches employed for fat reduction in food products.

Keywords: fat mimetics, fat substitutes, fat reduction strategies, food

1. INTRODUCTION

Lipids are defined as organic compounds that are capable of dissolution in organic solvents, including ether, benzene, chloroform and carbon tetrachloride. Lipids are insoluble in water due to their hydrophobic structure, although there are exceptions to this rule (e.g. lecithin, C1-C4 short-chain fatty acids, etc.). Fats constitute approximately 99% of the lipid class of animal and plant origin as glycerol esters of fatty acids. Fats are the primary nutrients that possess a high-energy content, providing 9 calories per gram, serve as a crucial source of essential fatty acids and fat-soluble vitamins that the body is unable to produce (Ötleş and Özyurt, 2020).

Fats are categorized into two distinct groups, namely animal and vegetable fats, based on their respective sources. Examples of animal fats include fish oil, milk fat, butter, and tallow, while vegetable oils are represented by seed oils (e.g. corn, sesame, soy, hazelnut) and olive oil. Furthermore, oils can be categorized into two distinct groups, namely liquid and solid oils, based on their physical properties at ambient temperature. Solid and liquid oils are defined as glycerol and fatty acid esters, consisting of only carbon, hydrogen, and oxygen atoms. It is a well-established fact that liquid oils generally contain higher levels of unsaturated fatty acids in comparison to solid oils. Saturated fatty acids are characterized by single bonds in their carbon chains, whereas unsaturated fatty acids possess double bonds. This difference significantly influences both the nutritional value and the physical properties of oils (Ötleş and Özyurt, 2020).

Fats are of significant importance in human nutrition due to their high-energy content and their role as the primary source of energy for the body (Gurr et al., 2016). Fats also facilitate the absorption of fat-soluble vitamins and are components of cell membranes. Fats also have other important functions, such as protecting the body's internal organs, supporting thermoregulation and increasing the feeling of satiety (Calder, 2015). However, it is acknowledged that the consumption of fats in an unbalanced manner can result in health complications. It is therefore vital that they are consumed in moderation as part of a balanced and varied nutrition plan. The selection of healthy fat sources, with a focus on unsaturated fats rather than saturated fats, has been demonstrated to enhance nutritional quality and mitigate health risks. Obesity is a major health concern arising from an imbalance in fat intake. The ingestion of saturated fats, particularly in excess, has been demonstrated to elevate cholesterol levels and augment the probability of obesity. Concurrently, the ingestion of substantial quantities of fat has been demonstrated to be related to hypertension and cardiovascular diseases (WHO, 2018).

Research has demonstrated that substituting 5% of dietary fat with healthy fats, such as polyunsaturated fats, can result in a 22% to 37% reduction in the risk of developing cardiovascular disease. Consequently, there is a compelling argument for the promotion of healthy fat sources and the regulation of trans/saturated fat content, as pivotal measures to enhance the overall health of the population. In this context, it is imperative that both conscious consumer preferences and the food industry adapt to the shifting nutritional trends (Mozzaffarian et al., 2011; WHO, 2018).

In recent times, the consumption of high levels of fat, which is detrimental to human health, has resulted in a shift in consumer purchasing habits and perceptions. This has led to an increased demand for products with reduced fat content. However, the taste of reduced fat foods

is also not very palatable to consumers. The replacement of fat is a challenging undertaking due to its multifaceted and pivotal role in food formulations. A variety of strategies have been employed to reduce fat content in foods, including the use of fat mimetics, substitutes and modifiers. The techniques employed in the reduction of adipose tissue tend not to satisfy all the criteria of natural fat alone. Consequently, a "systems approach" is recommended in order to reduce fat in foods, involving the use of combined ingredients and processing techniques to restore the functional properties lost due to fat reduction. The objective of this study is to provide a comprehensive overview of the strategies and novel approaches employed in the reduction of fat content in food products.

2. FAT REDUCTION STRATEGIES IN FOODS

A variety of techniques are employed in the reduction of fat, as the removal or reduction of fat from the food formulation can result in undesirable properties with regard to technology and food acceptability. In addition to conventional techniques for fat structuring, novel unconventional approaches such as enzyme derivatization, genetic modification, oleogels and fat mimics are employed for foods with a healthy nutritional profile. However, the replacement of lipids with structured fats or fat mimics results in changes in food quality that affect consumer acceptance from a technological perspective.

The presence of fat droplets plays a significant role in assessing the overall quality of food products. In the event of a reduction or elimination of fat droplets, there is frequently an alteration of the product's optical properties, texture, mouthfeel, flavor and biological response (e.g. satiety) in ways that are not considered desirable by consumers. Given the diverse functions of fat droplets in influencing food quality, identifying a single fat replacement strategy capable of delivering low-fat products with the same desirable attributes as their full-fat equivalents is often challenging. Rather, replicating the typical optical, rheological, and flavor characteristics and stability of oil droplets necessitates employing a range of varied strategies. The successful formulation of high-quality low-fat food emulsions depends on a thorough understanding of how oil droplets affect their physicochemical properties as well as sensory attributes.

The objective of fat reduction strategies is twofold: to enhance sensory attributes such as flavor and texture, and to maintain the nutritional value of foods. These strategies are the focus of academic research and industrial applications with the goal of improving public health and increasing consumer satisfaction (Temkov and Mureşan, 2021). The concept of lipid restructuring was first developed decades ago and has since led to extensive research and industrialization of techniques used in the production of margarine, shortening, and cream. It is evident that the utilization of conventional methodologies invariably results in the generation of substantial quantities of trans fats, a phenomenon that has been demonstrated to exert deleterious effects on the human organism. As a result, growing attention has been directed toward developing alternative lipid modification methods that replicate the functional properties of saturated fats while preserving the nutritional benefits of mono- and polyunsaturated fats.

3. FAT MIMETICS

It has been established that novel generation fat mimetics can be utilized as a substitute for solid fat in food products. Research has demonstrated that oleogels composed of wax, polymer gels and structured emulsions can be utilized as a substitute for solid fat in bakery products. It is evident that cellulose derivatives and shell lac oleogels can be employed for the purpose of stabilizing confectionery products. The majority of the ingredients used in the production of fat mimetics consist entirely of natural components, namely proteins, partial glycerides, plant sterols, lecithin, tocopherols (e.g. vitamin E) as well as plant-based waxes and beeswax (Patel et al., 2020).

Fat mimetics of non-lipid origin are defined as polar compounds that are capable of mimicking certain textural and organoleptic properties of traditional fats. These mimetics are used to partially substitute fat in food products. A distinctive characteristic of these products is their ability to bind water, which results in a creamy texture reminiscent of full-fat products. Nevertheless, the primary disadvantage associated with fat mimetics is their limited capacity to carry flavor. Fat mimetics can be classified into two main categories: protein-based and carbohydrate-based compounds. In protein-based mimetics, the proteins are converted to form a gel network by microparticulating, which imparts a smooth and creamy texture. However, these mimetics are unsuitable for high-temperature cooking methods, such as frying, due to the risk of protein denaturation. Common sources for these emulsifiers include egg, milk, pea, wheat or soy proteins and they are widely used in low-fat products like cheese, mayonnaise, salad dressings, ice cream, sauces and baked goods. Conversely, carbohydrate-based fat mimics, which also contain a substantial amount of water, form a gel-like structure, resulting in an increase in viscosity, thickness, and creaminess, closely mimicking the sensory qualities of full-fat counterparts (Temkov and Mureşan, 2021).

In order to substitute saturated fats with their unsaturated counterparts (liquid fat) without compromising the sensory attributes and quality properties of food products, it is essential to structurally modify unsaturated fats to emulate the functional characteristics of solid fats. Recent research has confirmed the effectiveness of these fat-mimicking strategies across a range of food applications. (Patel et al., 2020).

Teixeira et al. (2020) evaluated various formulations designed to reduce the fat content and enhance the lipid profile of the Portuguese sausage alheira. The data demonstrated that the three composition formulas of alheiras tested were not hypercaloric, and that the fatty acid profile could be enhanced by modifying the fat sources and meat type. This modification was particularly effective in reducing the content of palmitic and stearic acid, and myristic acid, whilst increasing the content of oleic, linoleic and palmitoleic acid.

In ice cream formulations, it has been observed that gels derived from wax and sterol can be employed as effective substitutes for milk fat. The potential utilization of oleogels in meat products and multi-component food systems has been ascertained. Nevertheless, the incorporation of oleogels in margarines has given rise to certain challenges with regard to mouthfeel, hardness and stability (Botega et al., 2013). Oleogelation, a strategy for fat reduction developed to prevent health complications associated with elevated fat intake, constitutes a contemporary technique employed for the reduction of saturated and trans-fat. Oleogel is

defined as a three-dimensional, continuous and thermo-reversible gel form formed by the crystallization of a low molecular weight gel agent in consumable vegetable oil. Research has demonstrated the potential application of oleogels in various food products, including bakery items, chocolate, margarine, and emulsified meat products. In emulsified meat products, replacing animal fat with oleogel, or the incorporation of oleogel in conjunction with animal fat at specific ratios, has been demonstrated to enhance the content of unsaturated fatty acids. This approach has been shown to improve the sensory quality and technological properties of the meat product, thereby enhancing its textural characteristics (Demiralp et al., 2017).

The utilization of renewable resources in oleogel production is regarded as a sustainable development strategy that is set to become the prevailing trend in the future. A broad array of studies has been conducted in which various types of waxes have been evaluated alongside diverse oils and varying concentrations. The oils employed in bakery products serve the function of stabilizing the air to facilitate homogeneous development. Oleogels characteristically exhibit reduced viscosity relative to oil, diminished hardness, and augmented bulk density. Biscuits/cookies and cakes/buns, due to their high fat content, are widely studied within the category of bakery products. In dairy products, the focus of the study is on ice cream, cream cheese, processed cheese products and imitation cheese, with a particular emphasis on reducing fat content. Notably, meat products are abundant in saturated fat and are regarded as a substitute for vegetable oils. However, it is acknowledged that they are not favored in terms of texture and flavor. As posited by numerous studies, saturated fats can be substituted with oleogels. It has been stated that oleogels have the capacity to enhance the textural and organoleptic properties of meat products. A significant corpus of research has been dedicated to the utilization of oleogels in the domain of chocolate and confectionery. The most commonly used oleogels in bakery products and margarines are monoglyceride (MAG), vegetable waxes and ethyl cellulose (EC) were determined in studies conducted in confectionery and dairy products (Silva et al., 2023). The oleogelation technique is a method that can be applied without causing any chemical changes in the structure of fatty acids. It has been asserted that the disadvantages of existing methods (hydrogenation, fractional crystallization and derivatization) are eliminated (Zetzl et al., 2012). Oleogels exhibit structural effects analogous to saturated fats, a consequence of their rheological properties, including deformability and elasticity. In addition to enhancing emulsion stability, these substances have been shown to impede the separation of fat globules from the emulsion (Co and Marangoni, 2012).

Oleogelation represents a novel technique as an alternative to traditional oil structuring methods, with numerous advantages, including the use of healthy oils in food products and the prevention of oil leakage. This technique has significant potential for the development of healthy products, especially in the food industry. Lately, research on oleogels increased significantly due to their potential to replace traditional solid fats (Temkov and Mureşan, 2021).

4. FAT SUBSTITUTES

Fat substitutes can be defined as technological tools that play an important role in reducing fat intake by changing the fat content of foods. The replacement of fat in food products poses a significant challenge because of their multifaceted and indispensable role in food products. It is evident that no singular fat substitute can adequately reproduce the multifaceted characteristics of natural fat. Consequently, a "systems approach" is advocated for the reduction of fat in foods, whereby combinations of ingredients and processing techniques are employed to replicate the technological and sensory roles typically provided by fat.

The most prevalent strategy employed in the field of fat substitute research focuses on binding water using carbohydrates or proteins. Fat substitutes can be classified as: carbohydrate-based, protein-based, and fat-based compounds. Carbohydrate-based substitutes are obtained from grains and plants and constitute the most well-known fat substitutes. Protein-based fat substitutes are products obtained from milk, eggs, whey, or vegetables. Fat-based substitutes are classified as, modified fats and synthetic fats (Roth et al., 1999). The fat content exerts a fundamental influence on various product properties (taste, mouthfeel, juiciness, texture, workability, heat transfer, etc.) and, as such, cannot be simply reduced and/or replaced by using less fat or replacing animal fat with another type of fat. The quality factors under discussion are applicable to meat products in the same way as other low-fat products (Colmenero, 2000). The primary stage in the development of healthy meat products is to reduce the high fat content. It is notable that certain processed meat products can contain fat levels of up to 20-30%. However, a reduction in fat content can compromise product quality with regard to technological and sensory properties, thereby impacting the marketability and consumer acceptance of low-fat meat products. There are three principal methods for reducing the fat content of meat products. The removal of visible external fat, the modification of ruminant feeds, and the use of fat substitutes in meat products (Olcay, 2020).

With the aim of reducing the fat content of meat products, lean meat or low-fat meat can be used instead of fat in the formulation. However, it should be noted that this process does not result in a reduction of cholesterol levels in the product. Moreover, the utilization of lean meat and low-fat meat in meat product formulations is not economically viable due to the increased cost. From a technological standpoint, this approach results in the production of products that are comparatively harder and drier than standard products (Olcay, 2020). Protein-based fat substitutes are obtained by altering the three-dimensional structure of proteins through the application of pH, heat or enzymatic denaturation, thereby endowing them with fat-like properties. Whey protein is an example of a fat substitute which is obtained by the separation of the protein from whole milk. However, whey protein concentrates are considered fat mimetics due to the fact that they possess significantly divergent chemical structures when compared with fat. Research has demonstrated that the incorporation of 2-4% whey protein into meatballs enhances cooking efficiency, while concurrently promoting fat and moisture retention without compromising juiciness, irrespective of the fat content level (5%, 10%, 20%). The utilization of fat substitutes, such as whey protein concentrate, has been demonstrated to result in an increase in the cost of low-fat meat products. However, the water retention properties inherent in these substitutes have been shown to typically offset this cost increase. Research has indicated that the incorporation of whey protein concentrate in low-fat meat products can lead to cost reductions of 10-20% (Serdaroğlu, 2006).

Lipid-based fat substitutes are generally classified into two categories: emulsifiers and lipid analogs. It has been demonstrated that Lipid analogs have been shown to mimic the functional properties of fats while contributing fewer calories (Brewer, 2012).

Carbohydrate-based fat substitutes are substances that mimic the properties of fat by stabilizing it in a gel-like matrix. This process can result in the release of added water in a manner analogous to the release of fat. A substantial body of research has been dedicated to the study of starches and flours as potential fat substitutes, owing to their capacity to bind and retain moisture. Incorporating tapioca starch, oat fiber, or whey protein to low-fat beef burgers has been found to produce burgers that meet sensory acceptability. Maltodextrin has been employed as an effective fat substitute, helping to mitigate the effects of fat reduction on cooking loss, texture, and sensory properties (Beaudoin et al., 2000).

Fat-based substitutes are generally divided into two groups: modified fats and synthetic fats. Triglycerides engineered to possess specific functional properties through alterations in the type and arrangement of fatty acids on the glycerol molecule are modified fats, with examples including caprenin and salatrim. The only synthetic fat permitted is olestra. The textural and sensory attributes of a product are affected by the presence of fat, thereby impacting consumer acceptance. In the context of cake production, the presence of fat is instrumental in two primary processes. Firstly, it facilitates the incorporation of air into the cake batter, thereby enhancing its volume. Secondly, it contributes to the overall flavor profile of the cake. Furthermore, fat is characterized by its ability to retain a significant quantity of liquid, thereby impeding the cohesion of gluten and enhancing the softness of the cake. Psimouli and Oreopulou (2013) replaced fat in cakes with various fat substitutes (carbohydrate and protein-based) in a range from 35% to 100%. To this end, maltodextrin, inulin, oligofructose, citrus pectin and microparticle protein were utilized. In general, it was determined that 35% fat substitution did not cause any significant change. The findings of the study indicated that the substitution of fat up to a maximum of 65% resulted in a decline in viscosity and pore formation, with the exception of pectin. It was observed that the substitution of fat more than 65% resulted in a substantial decline in hardness and elasticity, as well as a decrease in volume of the cakes. In the present study, low scores were attributed to cakes with high fat substitution, on the basis of their taste and flavor. However, cakes with full fat substitution were not accepted. It was posited that cakes with acceptable textural, physical and sensory properties could be obtained with 65% fat substitution. Pectin and inulin were determined as the most effective fat substitutions in the formulation of low-fat cakes.

5. OTHER FAT REDUCTION STRATEGIES

Recent advances in fat reduction in foods have focused on the use of natural and clean-label ingredients due to consumer demand for minimally processed foods. Innovations in this field include the use of plant-based fibers, new protein sources, and the development of hybrid systems that combine various fat replacers to achieve better functional properties. Combining carbohydrate- and protein-based fat replacers has been shown to result in a synergistic improvement in the texture and stability of low-fat products. Furthermore, advancements in

microencapsulation and nanotechnology are enabling greater precision in the regulation of the release and behavior of fat replacers within food matrices.

Fat reduction in food science is intricate and constantly evolving, necessitating a comprehensive grasp of the multifaceted interactions among ingredients and food systems. The objective of food scientists is to create healthier products that meet the increasing demand for nutritious and enjoyable food options without compromising taste and quality. To this end, they carefully select and combine different types of fat replacers.

Strategies for replacing fat in deep-frying have been developed. The initial approach, known as food surface modification, involves applying edible coatings, which have been proven effective in reducing fat absorption in deep-fried foods. Hydrocolloid coatings have been shown to reduce excessive oil absorption through their thermogelation properties, while remaining invisible. Furthermore, the application of coating to fried products has been demonstrated to enhance their nutritional value and improve their textural quality (Zeng et al., 2016). Although certain food ingredients and additives, such as phenolic extract (Sordini et al., 2019) and bamboo shoot extract (Zeng et al., 2016) have been used to reduce the oil content in fried foods, hydrocolloids possess a more extensive history of providing beneficial effects (Singthong and Thongkaew, 2009; Varela and Fiszman, 2011; Zhu et al., 2019).

The second technique is the modification of the frying technique. Pre-frying has been shown to be a highly successful approach of achieving fat reduction. This technique is most frequently employed in the production of frozen foods, ready-to-eat foods and certain processed products. The process of pre-frying is typically conducted at low temperatures (120-140 °C) for a short duration (1-3 min). This method of cooking is known as "partial-cooking" and it is a process that occurs when the exterior of the food is cooked, but the interior remains uncooked. In this method, products are pre-fried in different frying oils, including canola, olive, rapeseed, vegetable, palm and sunflower oils, at temperatures ranging from 100 to 180°C for a duration of 20 seconds to 1 minute prior to the final frying stage (Costa et al., 2016; Primo-Martín and van Deventer, 2011; Rahimi et al., 2018). Combining pre-frying and other pretreatment methods, namely pulsed microwave and vacuum frying, has been demonstrated to exhibit greater efficacy than using other methods alone. One study revealed that French fries subjected to this combined approach exhibited a 25% reduction in oil content in comparison to the control group. This represents a 40% decrease compared to the vacuum-fried product (Quan et al., 2016). Likewise, it has been documented that the concurrent utilization of vacuum frying and high vacuum drainage methods following the frying process can yield effective outcomes in terms of fat reduction (Ahmad Tarmizi and Niranjan, 2013). The vacuum frying technique has been identified as a recommended method for reducing oil absorption throughout the frying process. Vacuum frying has been demonstrated as an effective method for producing high-quality fruits and vegetables (Ayustaningwarno et al., 2018). This is due to the fact that it can operate at lower temperatures than atmospheric frying. As a relatively new approach, air frying involves direct exposure of food to an emulsion of oil droplets in hot air within the frying chamber (Shaker, 2015). The food is continuously moved in order to increase the uniform interaction between the two phases. This process has been shown to result in the loss of moisture and the formation of skin (Kucha et al., 2018; Marchetti et al., 2014). In comparison with conventional deep-fat frying techniques, air frying typically utilizes a significantly reduced

quantity of oil or even eliminates its use altogether. It has been demonstrated that air frying is a superior method to traditional deep-fat frying (Andrés et al., 2013).

The third technique involves the alteration of the frying medium. It has been hypothesized that the replacement of the frying oil may serve to reduce oil absorption throughout the frying process. It has been hypothesized that oil absorption in the frying process is influenced by factors such as viscosity and temperature (Ghaderi et al., 2018). It has been demonstrated that using low viscosity oil can reduce the rate of oil absorption. Even though the deterioration of frying oil does not impact its viscosity, decreasing the temperature after frying can increase viscosity, which may subsequently influence oil absorption during the cooling phase (Sahasrabudhe et al., 2019).

Inhomogeneous distribution is also one of the new techniques used for oil reduction. Mosca et al. (2012) studied the effect of spatial distribution of oil on oil-related sensory properties. They employed a model system consisting of layered agar/gelatin gels, within which oil-water (O/W) emulsion droplets were dispersed throughout the gel matrix. Samples exhibiting both homogeneous and heterogeneous fat distributions (emulsion droplets) were created by layering four gels containing different concentrations of emulsion droplets. The spatial distribution was obtained by superimposing layers containing different concentrations of fat. Quantitative Descriptive Analysis (QDA) revealed a significant increase in mouthfeel properties, such as spreadability and meltability, in samples exhibiting inhomogeneous fat distribution. Inhomogeneous samples, characterized by variations in fat content across layers, were detected as more spreadable and meltable than samples exhibiting homogeneous fat distribution. The sample exhibiting elevated fat concentration on the external surface achieved the highest sensory scores for mouthfeel and flavor perception. The current study established that manipulating the spatial distribution of fats within food matrices presents a promising approach for fat content reduction.

A conventional technique that has been widely used for the structuring of lipids and the modification of chemical and physical properties is fractionation. This process is employed to enhance the performance and suitability of the material for a range of applications. Hydrogenation and chemical derivatization are known to cause irreversible chemical changes in lipid composition, while fractionation is a reversible thermomechanical process. In addition to fractionation, hydrogenation and chemical esterification are widely used for lipid structuring. Discovered at the beginning of the last century, hydrogenation quickly transformed the oilseed industry by allowing liquid oils to be converted into suitable consistencies for use in margarines, shortenings and creams (Temkov and Mureşan, 2021).

The advent of genetic engineering has facilitated the manipulation of lipids and the direct transfer of fatty acid profiles into plants. This has been achieved by the identification, extraction, cloning and transfer of targeted genes, which have been employed to induce oil synthesis in a desired and flexible manner. This contemporary utilization of oilseed biotechnology has engendered a wholly novel perspective on the production of structured lipids that are, in essence, saturated in prevalent crops and no longer necessitate catalytic hydrogenation for stabilization. A significant proportion of the genes implicated in lipid

biosynthesis have been identified and can be utilized in engineering techniques for personalized lipids.

The incorporation of hydrocolloid polymers into low-fat products has been one of the extensively utilized techniques to modify the preferred properties of fat droplets. Hydrocolloid polymers are typically composed of large hydrophilic molecules that expand their structure upon dispersion in aqueous environments. Examples of these molecules include certain proteins (e.g. gelatin) and polysaccharides (e.g. alginate, carrageenan, xanthan, locust bean gum, agar, etc.). The ability of these molecules to capture water molecules leads to an effective solution volume that is much greater than the polymer chain's own volume (McClements, 2000). Hydrocolloid polymers are primarily used as fat substitutes due to their capacity to greatly enhance the viscosity of aqueous solutions, which stems from their considerable effective molecular volume. The capacity of diverse hydrocolloid polymers to imitate the functional characteristics of fat droplets in emulsion-based foods has been examined, and their usage in numerous food products, including mayonnaise, yoghurt, ice cream, dairy beverages, dairy desserts, and cheese, has been documented. Polymers are typically applied either individually or in combination to attain specific physicochemical and sensory characteristics in foods (Chung et al., 2016).

The controlled oil droplet aggregation technique is a systematical process that involves the controlled aggregation of oil droplets and the subsequent formation of larger structures under specific controlled parameters. In the emulsification process, the size, distribution and stability of oil droplets have a direct impact on the texture and sensory attributes of the food. Controlled aggregation is a process that involves the meticulous regulation of various factors to ensure the homogeneous and stable distribution of oil droplets. These factors include pH, temperature, emulsifier type and concentration. Consequently, the stability of the emulsion is enhanced, and the mouthfeel and flavor properties are optimized. This technique is employed extensively in the context of maintaining the creamy texture and flavor typically associated with oil, particularly in low-fat products. Moreover, this method is of significant importance in achieving the desired product properties when alternative oil sources are employed. In summary, controlled oil droplet aggregation is a critical tool in improving the quality of food products and consumer satisfaction (Wilson et al., 2012).

Derivatization is a method used to create oils applicable in a wide range of food products. This method allows for the removal of partially hydrogenated oils and industrial trans fats from foods while maintaining key characteristics such as taste and affordability. In response, manufacturers have found and begun using multiple replacements for partially hydrogenated oils. The employment of modified oils and fats, characterized by varying compositions, desired functionality and physical properties, has facilitated a reduction in the utilization of conventional animal fats derived from meat and dairy sources. This has consequently enabled the avoidance of oils that are rich in saturated fatty acids. One such alternative is interesterified oils, which are widely used in common products like butter spreads and cakes as replacements for oils and fats high in saturated and industrial trans fatty acids (Mills and Fuller-Tyszkiewicz, 2017). Besides derivatization, fat modification techniques such as blending, fractionation, and full hydrogenation are also used to avoid partial hydrogenation. Following a comprehensive review of the literature, it was concluded that the individual approaches under consideration

were not capable of providing the full range of functionality required to satisfy the various food applications necessary for large-scale production and health-focused reformulation strategies (Berry et al., 2019).

6. CONCLUSION

It is well established that fat plays a vital role delivering key attributes such as flavor, texture and stability in food products. However, due to the health concerns linked to excessive fat intake, the development of effective fat-reduction strategies has become a pressing priority. The food industry has adopted a variety of approaches-including the use of fat replacers and substitutes, as well as processing techniques such as blanching, air frying, interesterification, coating, derivatization, ultrasound treatment, pre-drying, and vacuum frying-to address this challenge.

The increasing consumer demand for healthier and low-calorie food products is expected to further elevate the relevance of these technologies. Continued innovation and widespread implementation of fat mimetics and substitutes will not only improve the nutritional profile of foods but also help maintain or enhance sensory qualities such as taste and mouthfeel.

Since no single fat-reduction method can fully replicate the multifunctional nature of natural fat, a systems approach-integrating functional ingredients with optimized processing techniques—is essential to achieve the desired product quality. Therefore, future research and technological advancements should focus on refining and combining these strategies to develop food products that are both health-promoting and sensorially satisfying.

REFERENCES

1. Ahmad Tarmizi, A. H., & Niranjan, K. (2012). Combination of moderate vacuum frying with high vacuum drainage-Relationship between process conditions and oil uptake. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2600-2608.
2. Andrés, A., Arguelles, Á., Castelló, M. L., & Heredia, A. (2013). Mass transfer and volume changes in French fries during air frying. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 1917-1924.
3. Ayustaningwarno, F., Dekker, M., Fogliano, V., & Verkerk, R. (2018). Effect of vacuum frying on quality attributes of fruits. *Food Engineering Reviews*, 10, 154-164.
4. Beaudoin, F., Michaelson, L. V., Hey, S. J., Lewis, M. J., Shewry, P. R., Sayanova, O., & Napier, J. A. (2000). Heterologous reconstitution in yeast of the polyunsaturated fatty acid biosynthetic pathway. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(12), 6421-6426.
5. Berry, S. E., Bruce, J. H., Steenson, S., Stanner, S., Buttriss, J. L., Spiro, A., ... & L Hall, W. (2019). Interesterified fats: What are they and why are they used? A briefing report from the Roundtable on Interesterified Fats in Foods. *Nutrition Bulletin*, 44(4), 363-380.

6. Botega, D. C. Z., Marangoni, A. G., Smith, A. K., & Goff, H. D. (2013). The potential application of rice bran wax oleogel to replace solid fat and enhance unsaturated fat content in ice cream. *Journal of Food Science*, 78(9), C1334-C1339.

7. Brewer, M. S. (2012). Reducing the fat content in ground beef without sacrificing quality: A review. *Meat Science*, 91(4), 385-395.
8. Calder, P. C. (2015). Functional roles of lipids and lipid nutrition in health and disease. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, *39*(1), 18S–32S.
9. Chung, C., Smith, G., Degner, B., & McClements, D. J. (2016). Reduced fat food emulsions: physicochemical, sensory, and biological aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(4), 650-685.
10. Co, E. D., & Marangoni, A. G. (2012). Oleogels: An alternative edible oil-structuring method. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89(5), 749-780.
11. Colmenero, F. J. (2000). Relevant factors in strategies for fat reduction in meat products. *Trends in Food Science & Technology*, 11(2), 56-66.
12. Costa, M. P., Frasao, B. S., Rodrigues, B. L., Silva, A. C., & Conte-Junior, C. A. (2016). Effect of different fat replacers on the physicochemical and instrumental analysis of low-fat cupuassu goat milk yogurts. *Journal of Dairy Research*, 83(4), 493-496.
13. Demiralp, Ş. Y., Demirok Soncu, E, Kolsarıcı, N. (2017). Oleojeller ve emülsifiye et ürünlerinde kullanımı. *GIDA (2017)*, 42 (5), 505-513.
14. Ghaderi, A., Dehghannya, J., & Ghanbarzadeh, B. (2018). Momentum, heat and mass transfer enhancement during deep-fat frying process of potato strips: Influence of convective oil temperature. *International Journal of Thermal Sciences*, 134, 485-499.
15. Gurr, M. I., Harwood, J. L., & Frayn, K. N. (2016). *Lipid biochemistry* (6th ed.). Wiley-Blackwell.
16. Kucha, C. T., Liu, L., & Ngadi, M. O. (2018). Non-destructive spectroscopic techniques and multivariate analysis for assessment of fat quality in pork and pork products: A review. *Sensors*, 18(2), 377.
17. Marchetti, L., Andres, S. C., & Califano, A. N. (2014). Low-fat meat sausages with fish oil: Optimization of milk proteins and carrageenan contents using response surface methodology. *Meat Science*, 96(3), 1297-1303.
18. McClements, D. J. (2000). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques* (1st ed.). CRC Press.
19. Mills, J., & Fuller-Tyszkiewicz, M. (2017). Fat talk and body image disturbance: A systematic review and meta-analysis. *Psychology of Women Quarterly*, 41(1), 114-129.
20. Mosca, A. C., Rocha, J. A., Sala, G., van de Velde, F., & Stieger, M. (2012). Inhomogeneous distribution of fat enhances the perception of fat-related sensory attributes in gelled foods. *Food Hydrocolloids*, 27(2), 448-455.
21. Mozaffarian, D., Micha, R., & Wallace, S. (2011). Effects on coronary heart disease of increasing polyunsaturated fat in place of saturated fat: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS Medicine*, 8(3), e1000252.

22. Olcay, H. S. (2020). The methods reducing of fat content in meat and meat products. *International Journal of Food Engineering Research*, 6(1), 1-16.

23. Ötleş S., & Özyurt, V. H., (2020). Structured lipids intended for infant nutrition. In C. M. Galanakis (Ed.), *Lipids and Edible Oils: Properties, Processing and Applications*. Elsevier Academic Press.

24. Patel, A. R., Nicholson, R. A., & Marangoni, A. G. (2020). Applications of fat mimetics for the replacement of saturated and hydrogenated fat in food products. *Current Opinion in Food Science*, 33, 61-68.

25. Primo-Martín, C., & Van Deventer, H. (2011). Deep-fat fried battered snacks prepared using super-heated steam (SHS): Crispness and low oil content. *Food Research International*, 44(1), 442-448.

26. Psimouli, V., & Oreopoulou, V. (2013). The effect of fat replacers on batter and cake properties. *J Food Sci*, 78(10), C1495-C1502.

27. Quan, J., Zhang, M., Fang, Z., Liu, H., Shen, Q. & Gao, Z. (2016). Low-oil French fries produced by combined pre-frying and pulsed-spouted microwave vacuum drying method. *Food Bioproducts and Processing*, 99, 109-115.

28. Rahimi, D., Kashaninejad, M., Ziaiifar, A. M., & Mahoonak, A. S. (2018). Effect of infrared final cooking on some physico-chemical and engineering properties of partially fried chicken nugget. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 1-8.

29. Roth, D. M., McKeith, F. K., & Brewer, M. S. (1999). Processing parameter effects on sensory and instrumental texture characteristics of reduced fat ground beef patties. *Journal of Muscle Foods*, 10(2), 163-176.

30. Sahasrabudhe, S. N., Staton, J. A., & Farkas, B. E. (2019). Effect of frying oil degradation on surface tension and wettability. *LWT*, 99, 519-524.

31. Serdaroğlu, M. (2006). The characteristics of beef patties containing different levels of fat and oat flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 41(2), 147-153.

32. Shaker, M. A. (2015). Comparison between traditional deep-fat frying and air-frying for production of healthy fried potato strips. *International Food Research Journal*, 22(4).

33. Silva, R., Ferdaus, M. J., Foguel, A., & da Silva, T. L. T. (2023). Oleogels as a fat substitute in food: A current review. *Gels*, 9, 180.

34. Singthong, J., & Thongkaew, C. (2009). Using hydrocolloids to decrease oil absorption in banana chips. *LWT-Food Science and Technology*, 42(7), 1199-1203.

35. Sordini, B., Veneziani, G., Servili, M., Esposto, S., Selvaggini, R., Lorefice, A., & Taticchi, A. (2019). A quanti-qualitative study of a phenolic extract as a natural antioxidant in the frying processes. *Food Chemistry*, 279, 426-434.

36. Teixeira, A., Fernandes, A. & Pereira, E. (2020). Fat content reduction and lipid profile improvement in Portuguese fermented sausages alheira. *Heliyon*, 6(10), e05306.

37. Temkov, M. & Mureşan, V. (2021). Tailoring the structure of lipids, oleogels and fat replacers by different approaches for solving the trans-fat issue-A review. *Foods*, 10(6), 1376.

38. Varela, P., & Fiszman, S. M. (2011). Hydrocolloids in fried foods. A review. Food *Hydrocolloids*, 25(8), 1801-1812.

39. Wilson, H. J., Dickinson, F., Hoffman, D. J., Griffiths, P. L., Bogin, B., & Varela-Silva, M. I. (2012). Fat free mass explains the relationship between stunting and energy expenditure in urban Mexican Maya children. *Annals of Human Biology*, 39(5), 432-439.

40. World Health Organization. (2018). *Healthy diet* (Fact sheet No. 394). https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet

41. Zeng, H., Chen, J., Zhai, J., Wang, H., Xia, W., & Xiong, Y. L. (2016). Reduction of the fat content of battered and breaded fish balls during deep-fat frying using fermented bamboo shoot dietary fiber. *LWT*, 73, 425-431.

42. Zetzl, A. K., Marangoni, A. G., & Barbut, S. (2012). Mechanical properties of ethylcellulose oleogels and their potential for saturated fat reduction in frankfurters. Food & Function, 3(3), 327-337.

43. Zhu, Y., Bo, Y., & Liu, Y. (2019). Dietary total fat, fatty acids intake, and risk of cardiovascular disease: a dose-response meta-analysis of cohort studies. *Lipids in Health and Disease*, 18, 1-14.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to thank Muhammed Furkan Karabacakoğlu and Erkan Aykut for their contribution in this study.

GLUTENSİZ TARHANA ÜRETİMİNDE AMARANT (*Amaranthus* L.) UNU KULLANIMI

Dr. Öğr. Üyesi, ALİ CİNGÖZ[1]

[1] Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, ali.cingoz@gop.edu.tr - 0000-0003-0958-2679

ÖZET

Çölyak hastalığı, genetik olarak duyarlı bireylerde gluten alımıyla tetiklenen bağışıklık kaynaklı bir enteropatidir. Çölyak hastalığının tedavisi, glutensiz bir diyete ömür boyu sıkı sıkıya bağlı kalmayı gerektirmektedir. Ürün çeşitliliğinin az olması çölyak hastaları başta olmak üzere glutensiz beslenen bireyleri alternatif ürün arayışına sokmaktadır. Yüksek düzeyde protein, yağ, lif, vitamin, mineral ve mikro bileşenlere, düşük düzeyde karbonhidrata ve iyi bir amino asit dengesine sahip olan Amarant glutensiz ürünlerde kullanılabilinmektedir. Tarhana, en eski geleneksel Türk fermente tahıl-yoğurt karışımlarından biridir. Bu çalışmada amarant unu ve 4 farklı oranda (%0, %0.5, %1.0 ve %2) ksantan gam (KG) ve guar gam (GG) ilave edilerek glutensiz tarhana üretimi gerçekleştirilmiş ve üretilen tarhanaların kimyasal, besinsel, fonksiyonel ve duyusal özellikleri belirlenmiştir. Amarant unu tarhana örneklerinde protein, kül, su aktivitesi, toplam fenolik madde ve antioksidan madde miktarını arttırmıştır. Hidrokolloid ve amarant unu kullanımı glutensiz tarhananın rengini (L*, a* ve b*) etkilemiştir. %2 KG içeren tarhana örnekleri en yüksek a* değerlerine sahipken, %0,5 KG içeren tarhana örnekleri en yüksek b* değerlerine sahip olmuştur. Hidrokolloidler glutensiz tarhana çorbalarının duyusal özellik puanlarını etkilemiştir. %1 GG ve %2 KG ile hazırlanan tarhana çorbaları tat, aroma ve genel kabul edilebilirlik açısından en yüksek puanları vermiştir. Sonuç olarak, glutensiz tarhana üretiminde amarant ununun hidrokolloidler ile birlikte kullanım imkanı olduğu, tarhanaların besinsel özelliklerinin iyileştiği ve duyusal yönden kabul edilebilir düzeyde bulunduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Tarhana, Glutensiz, Hidrokolloid

USE OF AMARANT (Amaranthus L.) FLOUR IN THE PRODUCTION OF GLUTEN-FREE TARHANA

ABSTRACT

Celiac disease is an immune-mediated enteropathy triggered by the ingestion of gluten in genetically susceptible individuals. Management of celiac disease requires strict adherence to a gluten-free diet for life. The lack of product diversity has led people on gluten-free diets, particularly those with celiac disease, to seek alternative products. Amaranth is high in protein, fat, fibre, vitamins, minerals and micronutrients, low in carbohydrates and has a good amino acid balance and is safe to use in gluten-free products. Tarhana is one of the oldest traditional Turkish fermented cereal yoghurt blends. In this study, gluten-free tarhana was produced by

adding amaranth flour and xanthan gum (XG) and guar gum (GG) at 4 different ratios (0%, 0.5%, 1.0% and 2%) and the chemical, nutritional, functional and sensory properties of the produced tarhana were determined. Amaranth flour increased the protein, ash, water activity, total phenolic and antioxidant content of tarhana samples. The use of hydrocolloids and amaranth flour affected the colour (L*, a* and b*) of gluten-free tarhana. Tarhana samples with 2% XG had the highest a* values, while tarhana samples with 0.5% XG had the highest b* values. Hydrocolloids affected the sensory attributes of gluten-free tarhana soups. Tarhana soups prepared with 1% GF and 2% XG gave the highest scores in terms of taste, aroma and general acceptability. In conclusion, amaranth flour with hydrocolloids can be used in the production of gluten-free tarhana, the nutritional properties of tarhana are improved and the sensory properties were found to be acceptable.

Keywords: Tarhana, Gluten-free, Hydrocolloid

1. GİRİŞ

Tarih boyunca çeşitli toplumlar tarafından hem yeşil sebze, hem de tahıl tanesi olarak tüketilmiş olan ve ülkemizde de Horozibiği bitkisi adı ile tanınmakta olan amaranth türleri, bir gıda kaynağı olarak kullanım potansiyeline sahiptir. Amaranth tanesinde bulunan protein, diğer geleneksel tahıl tanelerinden daha yüksek bir seviyede bulunurlar. *A. cruentus*'un proteininin dağılımı %65 tohum ve tohum kabuğu, %35 nişasta perisperminde olduğu gösterilmiştir. Ayrıca amarant yüksek yağ, vitamin, mneral ve diyet lifi içeriğiyle ön plana çıkmaktadır (Betschart ve ark., 1981).Vücut sistemini etkileyen önemli belirtileri olan çölyak hastalığının bilinen bir tedavisi bulunmamakla birlikte glutensiz beslenme zorunluluğu bulunmaktadır. Glutensiz beslenen tüketicilerin bir çoğu ürün çeşitliliğinin az olmasından ve lezzet eksikliğinden bahsetmektedir (Catassi ve Fasano, 2008; Caio ve ark., 2019). Bundan dolayı lezzetli ve besleyici ürün çalışmaları önemini arttırmaktadır. Glutensiz ürün üretiminde; karabuğday, pirinç, teff, yulaf unu kullanımı ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Hadnadev ve ark., 2013, Kaur ve ark., 2015; Torbica ve ark., 2012, Chung ve ark., 2014; Coleman ve ark. 2013; Duta ve Culetu, 2015). Bu çalışmanın amacı; amarant unu ve 4 farklı oranda (%0, %0.5, %1.0 ve %2) ksantan gam (KG) ve guar gam (GG) ilave edilerek glutensiz tarhana üretimi gerçekleştirmek ve üretilen tarhanaların kimyasal, besinsel, fonksiyonel ve duyusal özelliklerini belirlemektir.

2. MATERYAL METOT

2.1. Materyal

Çalışmada ana materyal olarak amarant unu (İngro) kullanılmıştır. Tüm hammaddeler +4°C'de depolanmıştır. Kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıktadır.

2.2. Yöntem

2.3. Tarhana üretimi

Tarhana üretiminde kullanılan reçete Çizelge 1'de sunulmuştur. Tarhana üretiminde hammaddeler bir araya getirilip 30 dk yoğrulduktan sonra hamurlar 5-8 mm kalınlığında

inceletilmiş ve 3 gün boyunca fermantasyona bırakılmıştır. Fermente tarhana hamuru kurutulduktan sonra öğütülerek kullanılıncaya kadar -18°C'de depolanmıştır.

Çizelge 1. Tarhana üretiminde kullanılan reçete

Hammaddeler	Miktar
Amarant unu	400 g
Yoğurt	200 g
Salça (32 brix)	40 g
Su	250-400 mL
Soğan	60 g
Tuz	16 g
Kırmızı toz biber	8 g
Nane	8 g
Maya	10 g
Gamlar (ksantan gam (KG) ve guar gam (GG))	4 farklı oranda (%0, %0.5, %1.0 ve %2)

2.4. Kimyasal analizler

Rutubet ve kül içerikleri gravimetrik olarak (AACC, 2004), protein içerikleri mikro kjeldahl yöntemi ile (AOAC, 2000) belirlenmiştir. Su aktivitesi 20°C'ye ayarlanmış AquaLab (Model Series 3TE) su aktivitesi cihazı kullanılarak ölçülmüştür (Hughes ve ark., 2002). Tarhanaların su ve yağ tutma kapasiteleri Naczk ve ark. (1985) tarafından bildirilen yönteme göre belirlenmiştir.

2.5. Renk Analizi

Tarhana örneklerinin rengi kolorimetre (Minolta, CR-300, NJ, Amerika Birleşik Devletleri) kullanılarak ölçülmüştür (Singh ve ark., 2005).

2.6. Toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite analizleri

Örnek hazırlama amacıyla 2 g örnek ve 10 ml %50'lik metanol içerisinde 10 dk ultrasonik su banyosunda bekletilmiştir. Ardından 15 dk mekanik çalkalayıcıda çalkalanmış ve 8500 rpm'de de 20 dk santrifüj edilmiştir. Berrak kısım alınarak analiz edilinceye kadar -18°C'de depolanmıştır (Singleton ve Esau, 1969).

Toplam fenolik madde tayini: Analiz 2 N Folin-Ciocalteu fenol ayıracı kullanılarak Singleton ve Esau (1969) tarafından tanımlanan yönteme göre belirlenmiş ve sonuçlar "gallik asit eş değeri" olarak hesaplanmıştır.

DPPH radikal süpürme aktivitesi: DPPH (2.2 diphenly-1-picrylhydrazyl) yöntemiyle antioksidan kapasite tayini Brand-Williams ve ark. (1995) tarafından belirtilen yönteme göre yapılmış ve sonuçlar "trolox eşdeğeri" cinsinden verilmiştir.

2.7. Duyusal analiz

Tarhana örneklerinde duyusal değerlendirme 20-55 yaş aralığında 12 panelist ile gerçekleştirilmiştir. Duyusal değerlendirme de renk, tat ve aroma, koku, kıvam, ağızda bıraktığı

his ve genel beğeni özellikleri bakımından 1-5 puan aralığında hedonik skala kullanılarak değerlendirilmiştir (Watts ve ark., 1989).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geleneksel ürünlerimizden bir tanesi olan tarhana yüksek besin içeriği ile ön plana çıkmaktadır. Çölyak hastalarının ve glutensiz beslenen bireylerin kısıtlı sayıda ürüne ulaşması nedeniyle glutensiz ürün çeşitliliği ile ilgili çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Glutensiz tarhana örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları Çizelge 2'de gösterilmektedir. Örneklerin kuru madde içerikleri benzerlik gösterirken gam ilavesinin kül içeriklerinde azalışa neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca gam ilavesi örneklerin su aktivitesinde artışa neden olmuştur. Tarhana gibi toz örneklerin önemli özelliklerinden biriside su ve yağ tutma kapasiteleridir. Tarhana üretiminde guar gam kullanılması su tutma kapasitesinde, ksantan gam kullanılması ise yağ tutma kapasitesinde artışa neden olmaktadır.

Çizelge 2. Tarhana örneklerinin kimyasal bileşimi ve teknolojik özellikleri

	Kurumadde (%)	Kül (%)	Su Aktivitesi	Yağ tutma (%)	Su tutma (%)
KONTROL	97.27±0.12	2.75±0.38	0.104±0.012	82.15±6.62	222.55±1.11
GG-0.5	97.55±0.27	2.69±0.22	0.110±0.001	82.94±0.70	224.03±4.99
GG-1	96.82±0.28	2.62±0.16	0.119±0.001	84.02±1.33	223.59±0.48
GG-2	96.90±0.25	2.35±0.29	0.126±0.000	87.35±3.89	223.59±1.85
KG-0.5	96.93±0.59	2.74±0.30	0.120±0.015	80.62±0.79	226.71±2.56
KG-1	96.95±0.39	2.51±0.39	0.125±0.013	80.88±1.21	232.15±2.74
KG-2	97.14±0.02	2.51±0.43	0.132±0.003	80.41±0.91	242.21±2.85

Örneklerin renk değerleri Çizelge 3'de gösterilmektedir. Renk tüketicilerin bir ürünü seçmesinde temel kriterlerinden birisidir. Glutensiz tarhana üretiminde gam kullanımın L değerinde değişikliğe neden olmadığı guar gamın a değerini düşürdüğü, ksantan gamın ise yükselttiği, b değerinde ise kısmi artışa neden olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3. Tarhana örneklerinin renk değerleri

	L*	a*	b*
KONTROL	58.12±1.41	7.27±1.16	36.71±1.39
GG-0.5	57.19±1.62	6.95±0.75	36.53±0.77
GG-1	58.11±1.61	6.83±0.86	34.81±1.04
GG-2	58.22±0.88	6.30±0.08	36.27±0.14
KG-0.5	57.05±0.91	7.33±0.70	38.42±0.12
KG-1	58.10±1.25	7.41±0.04	37.79±0.23
KG-2	58.45±0.56	7.52±0.74	38.08±0.07

Genelikle nişasta bazlı üretilen ve besin içeriği zayıf olan glutensiz ürünlerde fonksiyonel bileşimi zenginleştirmek için farklı bileşenler kullanılmaktadır. Fonksiyonel bileşen bakımından zengin amarant ununun tarhana üretiminde kullanımı toplam fenolik madde ve

toplam antioksidan kapasite miktarlarında önemli artışa neden olmuştur. Tarhana örneklerinin fonksiyonel bileşimi Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Tarhana örneklerinin fonksiyonel bileşimi

	Toplam Fenolik (mgGA/100 g)	Toplam Antioksidan Madde (DPPH) (µMtroloxeşdeğer/100 g)
KONTROL	253.79±7.64	8.58±0.32
GG-0.5	257.35±2.68	10.86±0.15
GG-1	252.54±4.08	10.56±0.36
GG-2	261.48±8.40	10.57±0.10
KG-0.5	260.99±8.86	11.75±0.10
KG-1	257.28±0.84	11.20±0.04
KG-2	262.19±0.19	11.36±0.53

Glutensiz beslenen bireylerin en büyük sorunu lezzettir. Bu çalışmada lezzetli tarhana üretimi esas alınmıştır. Tarhana örneklerinin duyusal analiz sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir. En yüksek genel beğeni puanına GG-2 ve KG-1 ve 2 örneklerinde ulaşılmıştır.

Çizelge 5. Tarhana örneklerinin duyusal analiz sonuçları

	Renk	Tat ve Aroma	Koku	Kıvam	Ağızda bıraktığı his	Genel Beğeni
KONTROL	2.67	1.92	2.08	1.71	1.58	1.13
GG-0.5	2.33	1.17	2.17	1.50	1.42	2.04
GG-1	2.79	2.13	2.50	2.33	1.88	2.13
GG-2	2.63	2.21	2.71	2.38	2.17	2.17
KG-0.5	2.83	1.92	2.50	2.08	1.67	2.08
KG-1	2.17	2.29	2.75	2.50	2.00	2.42
KG-2	2.88	2.58	2.54	3.00	2.33	2.42

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada alternatif unlardan Amarant ununun kullanımı ile üretilen glutensiz tarhanaların kimyasal, fonksiyonel ve duyusal özellikleri tespit edilmiştir. Tarhana çorbalarının üretimi esnasında yapının bir arada kalması için 2 farklı gam 4 farklı oranda ilave edilmiştir. Yapılan bu çalışma glutensiz ürün çeşitliliğine katkı sağlamıştır. Ayrıca ilerde üretilecek glutensiz tarhanalar için önemli bir çalışma olma niteliği taşımaktadır.

.

KAYNAKÇA

AACC. Aapproved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 11th Edition. 2000.

AOAC. Official Method. Association of Official Agricultural Chemists, by the United States Department of Agriculture. 2000.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E. and Berset, C. (1995).Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie/Food Science and Technology, 28: 25-30.

Caio, G., Volta, U., Sapone, A., Leffler, D. A., De Giorgio, R., Catassi, C., & Fasano, A. (2019). Celiac disease: a comprehensive current review. *BMC medicine*, *17*, 1-20.

Catassi, C., & Fasano, A. (2008). Celiac disease. *Gluten-free cereal products and beverages*, 1-I.

Chung, H.J., Cho, A. and Lim, S.T. (2014).Utilization of germinated and heat moisture treated Brown rices in sugar-snap cookies. LWT-Food Science and Technology, 57, 260- 266,

Coleman, J., Abaye, A.O., Barbeau, W. and Thomason, W. (2013).The suitability of teff flour in bread, layer cakes, cookies. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 64, 877-881.

Duta, D.E. and Culetu, A. (2015). Evaluation of rheological, physicochemical, thermal, mechanical and sensory properties of oat-based gluten free cookies. Journal of Food Engineering, 162, 1-8.

Hadnadev, T.R.D., Torbica, A.M. and Hadnađev, M.S. (2013). Influence of buckwheat flour and carboxymethyl cellulose on rheological behavior and baking performance of gluten-free cookie dough. Food and Bioprocess Technology, 6(7), 1770-1781

Hughes MC, Kerry JP, Arendt EK, Kenneally PM, Mcsweeney PLH and O'neill EE (2002). Characterization of proteolysis during the ripening of semi-dry fermented sausages. Meat Science, 62: 205-216.

Kaur, M., Sandhu, K.S., Arora, A. and Sharma, A. (2015). Gluten free biscuits prepared from buckwheat flour by incorporation of various gums: physicochemical and sensory properties. LWT-Food Science and Technology, 62(1), 628-632.

Naczk, M., Diosady, L.L. ve Rubin, L.J., (1985). Functional properties of canola meals produced by a two-phase solvent extraction system. Journal of Food Science, 50, 1685-1692.

Singh, N., Kaur, M. ve Sandhu, K.S. Physicochemical and functional properties of freeze-dried and oven dried corn gluten meals. Drying Technology, 23, 975- 988, 2005.

Singleton VL and Esau P (1969). Phenolic substances in grapes and wine and their significance. Advance in Food Research, 282 p. Academic Pres. New York.

Torbica, A., Hadnađev, M. and Hadnadev, T.D. (2012). Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. Food Research International, 48(1), 277-283.

Watts BM, Ylimaki GL, Jeffery LE and Elias LG (1989). Basic sensory methods for food evaluation. The International Development Research Centre, Ottawa, Canada, 160p.

SÜT VE SÜT ÜRÜNLERİNDE UYGULANAN KURUTMA YÖNTEMLERİ VE KALİTE PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Sedef Kübra BİLGİN

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Lisanüstü Eğitim Enstitüsü

bilginsedefkubra158@gmail.com - ORCID ID: 0009-0009-7665-3247

Dr. Öğr. Üyesi Melike DEMİRKOL

Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi

melike.demirkol@gop.edu.tr – ORCID ID: 0000-0001-9433-8552

ÖZET

Süt ve süt ürünleri, yüksek su içerikleri nedeniyle mikrobiyal bozulmaya son derece yatkın olduklarından dolayı depolama ve taşıma konusunda sorunlar yaşanmaktadır. Bu soruna bir çözüm olarak kurutma işlemi süt ürünlerinin besin kaybı yaşanmadan toza dönüştürebilme ve korunabilmesi avantajından dolayı gıda endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Kurutma; mikrobiyolojik güvenliğin sağlanması, raf ömrünün uzatılması, taşıma ve depolama kolaylığı sağlanması, ürün stabilitesinin arttırılması ve maliyet/enerji verimliliği gibi çeşitli avantajlar sunar. Süt ve süt ürünlerine uygulanan başlıca kurutma yöntemleri arasında sprey kurutma, dondurarak kurutma, köpük mat kurutma ve vakumla kurutma gibi teknikler yer almaktadır. Bu yöntemler sırasında uygulanan sıcaklık, nem ve süre gibi işlem parametreleri, ürünün çözünürlük, tat, renk ve doku gibi duyusal özelliklerini ve genel kalite parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Aynı zamanda bu yöntemler besin değeri kayıpları, enerji tüketimi ve ekonomik maliyetler açısından da farklılık göstermektedir. Bu çalışma kapsamında; farklı kurutma yöntemlerinin tanımı ve işleyişi, bu yöntemlerin ürün kalitesi ve besin değerleri üzerindeki etkileri, avantaj ve dezavantajları ele alınarak karşılaştırmalı bir analiz sunulacaktır. Ayrıca, konuyla ilgili güncel akademik çalışmaların bulgularına da yer verilerek süt ve süt ürünlerinde kurutma teknolojilerinin mevcut durumu değerlendirilmiş olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Süt Ürünleri Kurutma Yöntemleri, Süt Tozu, Sprey Kurutma, Dondurarak Kurutma, Reaktif Pencereli Kurutma, Köpük-Mat Kurutma

1. GİRİŞ

Gıda endüstrisinde, raf ömrü uzun ürünlere yönelik artan talep, gıda kalitesini artırmaya yönelik teknolojik gelişmeleri teşvik etmektedir. Küresel nüfusun büyümesi ve gıda güvenliğine verilen önemin artması, araştırmacıları gıda işleme alanında daha yenilikçi yöntemler geliştirmeye yönlendirmektedir. Bu bağlamda, yaygın olarak kullanılan koruma tekniklerinden biri olan kurutma işlemi, ürünün su içeriğini mikrobiyal gelişimi ve nem kaynaklı bozulmaları önleyecek düzeylere indirerek ürün stabilitesini sağlamaktadır. Aynı zamanda su içeriğinin azaltılması, ürün ağırlığı ve hacminde azalmaya neden olarak ambalajlama, depolama ve lojistik maliyetlerinde önemli avantajlar sunmaktadır (Rosa & Prudencio, 2023; Jakkamsetty vd., 2024).

Süt, besin değeri yüksek bir ürün olmasının yanı sıra çabuk bozulan ve uzun süre depolanamayan bir gıda olduğu için kurutularak farklı formlara dönüştürülmesi hem kullanım alanını genişletir hem de ekonomik değerini artırır. Toz süt ürünleri, kontaminasyon riskininin azalması, uzun süre saklanabilmeleri ve kolay taşınabilmeleri sayesinde hem üreticiler hem de tüketiciler için önemli bir avantaj sunar. Kurutma işlemi, ürünün raf ömrünü uzatırken besin değerini de korur ancak üretim sürecinde uygulanan işlemler, süt tozunun çözünürlük gibi fiziksel özelliklerini etkileyebilir (Thakur vd., 2025).

2. SÜT ve SÜT ÜRÜNLERİNDE UYGULANAN KURUTMA YÖNTEMLERİ

Süt ve süt ürünlerinin kurutulmasında kullanılan kurutma yöntemleri, hem ürünün özelliğine hem de ekonomik ve teknolojik gerekliliklere bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

Sprey kurutma, sıvı ya da yarı sıvı formdaki ürünlerin atomize edilerek sıcak hava ile temas ettirilmesi ve bu şekilde hızlıca toz forma dönüştürülmesini sağlayan bir yöntemdir. Süt endüstrisinde süt, peynir altı suyu, krema, dondurma karışımları ve kazeinat için kullanılmaktadır. Sprey kurutma yönteminin kısa işlem süresi, ürün kalitesinin korunması, raf ömrünün uzatılması, çözünürlüğü yüksek toz eldesi, otomasyona uygunluk ve ürüne göre yöntem parametrelerinin özelleştirilebilmesi gibi avantajları vardır. Ancak yüksek enerji tüketimi, aroma ve bazı besin bileşenlerinin kaybı gibi sınırlamaları da bulunur (Davidov-Pardo vd., 2015; Thakur vd., 2025; Vega & Roos, 2006; Vicente vd., 2013).

Dondurarak kurutma yöntemi, ürünün atmosfer basıncı altında düşük sıcaklıklarda dondurulmasının ardından buz kristallerinin buharlaşmasıyla süblimleştiği daha sonra suyun kuru tabakadan desorbe edildiği bir işlemdir. Süt, krema, peynir, dondurma, probiyotikler, laktaz, ve başlangıç kültürlerinin kurutulmasında etkilidir. Dondurarak kurutma yöntemin avantajları arasında gıdadaki sıcaklık ve oksijene duyarlı bileşikleri ve besin değerlerini yüksek oranda koruması, yüksek rehidrasyon kapasitesi, taze ürüne yakın doku ve renk parametreleri özelliklerine sahip son ürün oluşturmaları varken dezavantajlarının yüksek enerjiye bağlı maliyet artışı, uzun işlem süreleri, eşit kaliteye sahip ürün eldesi zorluğu, son ürüne ek öğütme gereksinimi gibi sorunlar vardır (Joel vd., 2023; Nowak & Jakubczyk, 2020; Özdemir vd., 2021; Ratti, 2001).

Refraktans pencereli kurutma yöntemi, gıdanın, sıcak su ile ısıtılmış pencere görevi gören şeffaf ve ince kızılötesi bir film üzerine uygulanması ve dolaşan su ile radyasyon ve iletim yoluyla ısının gıdaya iletimi ile suyun buharlaşmasının hızlı bir şekilde gerçekleştiği bir yöntemdir.

Refraktans pencereli kurutma yönteminin gıdanın işlevsel özelliğini değiştirmeden yüksek kalitede son ürün eldesi, enerji tüketimi ve kurutma süresi uygunluğu, viskoz ürünlerin filme yayılma kolaylığı, aşırı ısınmayı önlemesiyle termal olarak hassas ürünlere kullanımına uygun olmak gibi avantajları varken; seri üretim için büyük yüzey alanı gerektirmesi gibi bir dezavantajı vardır (Herrera vd., 2025; Kumar vd., 2022; Mahanti vd., 2021; Waghmare, 2021).

Köpük-mat kurutma yöntemi, sıvı veya püre halindeki ürünlere köpürtücü maddeler (yumurta akı, Arap zamkı, metil selüloz, maltodekstrin vb.) eklenerek stabil formda köpük elde edilmesinin ardından bu köpüğün mat veya köpük levha üzerine ince tabaka halinde yayılması ve sıcak hava ile kurutulması prensibine dayanır. Köpük-mat kurutma yönteminin avantajları arasında yapışkan, viskoz ve ısıya duyarlı ürünlerde kullanılmaya uygun olması, yüksek hızlı kurutma, iyi ürün kalitesi, maliyet etkinliği, kısa kurutma süresine bağlı kalite kaybının düşük olması, çözünürlüğü ve rehidrasyon hızı yüksek toz ürün oluşturma varken, dezavantaj olarak köpük stabilitesini tutturma zorluğu olabilir (Hardy & Jideani, 2017; Daştan & İşleroğlu, 2020).

Mikrodalga destekli vakum kurutma yöntemi, ürünün mikrodalga enerjisiyle ısınarak içten dışa suyun buharlaştırılması ve buharın düşük basınç altında vakum uygulanmasıyla ortamdan uzaklaştırılması esasına dayanır. Mikrodalga destekli vakum kurutma yönteminin avantajları arasında kısa kurutma süresinde düşük maliyette uygun kalitede son ürün elde edilebilmesi ve kurutma basıncının düşük olmasına bağlı sınırlı lipit oksidasyonu vardır ayrıca vakum kurutma tekniğinin dezavantajı olan uzun süren bir işlem olmasından kaynaklı yüksek maliyet sorunun önüne yöntemin mikrodalga ile birleştirilerek geçilebilmektedir (İlter Baysan vd., 2024; Çağdaş vd., 2011; Dumpler & Moraru, 2024).

Süt ürünlerine uygulanan bu yöntemlerin enerji tüketimi, besin değeri korunumu, kurutma süresi, uygulandığı ürünler gibi farklı özellikleri bulunmaktadır. Bu verilerin karşılaştırmaları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Süt ve Süt Ürünlerinde Uygulanan Kurutma Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Yöntem	Enerji Tüketimi	Besin Değeri Korunumu	Kurutma Süresi	Uygun Ürünler	Kaynakça
Sprey Kurutma	Yüksek	Orta	Kısa	Süt, Peynir Altı Suyu, Krema, Dondurma Karışımları, Kazeinat	Davidov-Pardo vd., 2015; Thakur vd., 2025 ; Vega & Roos, 2006; Vicente vd., 2013
Dondurarak Kuruma	Yüksek	Yüksek	Uzun	Süt, Krema, Peynir, Dondurma, Probiyotikler, Laktaz, Ve Başlangıç Kültürlerinin	Joel vd., 2023; Nowak & Jakubczyk, 2020; Özdemir Et Al., (2021); Ratti, (2001)
Refraktans Pencereli Kurutma	Düşük	Yüksek	Çok Kısa	Yoğurt, Kefir	Herrera vd., 2025; Kumar vd., 2022; Mahanti Et Al., 2021; Waghmare,

					2021;Tontul Vd., 2018 Tontul Vd., 2021
Köpük-Mat Kurutma	Düşük	Orta-Yüksek	Çok Kısa	Peynir	Hardy & Jideani, 2017; Daştan & İşleroğlu,2020 ; Motamedzadegan Vd. 2022
Mikrodalga Kurutma	Orta-Düşük	Orta-Yüksek	Kısa	Peynir, Yoğurt	İlter Baysan vd., 2024; Çağdaş vd., 2011; Dumpler & Moraru, 2024; Simão Vd., 2025; Abbasi Ve Hamidi-Esfahani, 2010

Felfoul vd. (2020), yağsız inek ve deve sütünü sprey kurutma yöntemiyle 75 °C ve 85 °C çıkış hava sıcaklıklarında kurutarak oluşan tozların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değerlendirmiştir. Sıcaklığın artışıyla birlikte hem deve hem de inek sütü tozlarında toplam katı madde içeriği artmış, su aktivitesi düşmüştür. Deve sütü daha düşük viskoziteye sahip olduğundan daha küçük partiküller oluşmuş, ancak sprey kurutma sıcaklığının deve sütü tozlarının partikül boyutu üzerinde anlamlı bir etkisi gözlenmemiştir. Buna karşılık, inek sütü tozunda 85 °C sıcaklıkta partikül boyutu artmıştır. Tüm süt tozları, parlak görünümlü, düşük renk doygunluğuna sahip ve köşeli küçük parçacıklardan oluşan agregalar şeklindedir. Kurutma sıcaklığı arttıkça renk doygunluğunda hafif bir artış gözlenmiştir. Her iki süt tozu da zor ıslanabilir, zor dağılabilir ve orta düzeyde çözünebilir bulunmuştur. Deve sütü tozları, 85 °C'de daha yüksek çözünürlük indeksi göstermiştir; inek sütünde ise tersine bir eğilim gözlenmiştir. Ancak çalışmanın yalnızca iki tekrar içermesi nedeniyle sonuçlar dikkatle değerlendirilmelidir. Gelecekteki çalışmalarda daha yüksek çıkış hava sıcaklıklarının etkisi ile tozun fiziksel özellikleri (özellikle partikül boyutu ve şekil dağılımı) ile birlikte, akışkanlık gibi endüstriyel açıdan önemli fonksiyonel özelliklerin de değerlendirilmesi önerilmektedir.

Hnin vd. (2019), yaptıkları çalışmada, gül aromalı yoğurt eriyiklerinin üretiminde kızılötesi destekli dondurarak kurutma (IRFD) yönteminin uygulanabilirliğini değerlendirmişlerdir. 45, 55 ve 65 °C'de kuruttukları ürünlerin özelliklerini incelenmiş ve geleneksel dondurarak kurutma (FD) yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar sonuçlarda IRFD örneklerinin, FD'ye göre daha düşük toplam renk değişimi ve daha kompakt mikro yapılar gösterdiğini, 55 °C'de IRFD ile kurutulan numunenin en yüksek duyusal puanı aldığını, rehidrasyon süresinin FD örneklerinde daha kısa olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, fenolik ve flavonoid içeriğinin 55 °C'de, antosiyanin ise 45 °C'de en yüksek seviyede korunduğunu ve IRFD yönteminin kurutma süresini %5–14, enerji tüketimini ise %9–19 oranında azaldığını tespit etmişlerdir. Sonuç olarak, IRFD'nin, hem ürün kalitesi hem de enerji verimliliği açısından geleneksel FD'ye kıyasla avantajlı bir alternatif olarak öne çıktığını ancak yöntemin ticari üretime uygunluğunu değerlendirmek için daha fazla çalışma gerektiğini tespit etmişlerdir.

Zhou vd. (2025), sığır, keçi ve at sütlerinden elde edilen süt tozlarını sprey ve dondurarak kurutma yöntemleriyle karşılaştırmıştır. Sprey kurutma ile üretilen tozlar, daha küçük parçacık boyutu, düşük hava içeriği, düşük laktoz kristalinitesi, yüksek yoğunluk ve daha iyi akışkanlık göstermiştir; ancak yeniden çözünme özellikleri dondurarak kurutulanlara göre zayıf olduğunu

renk açısından sprey kurutulmuş tozlar daha kırmızı-yeşil tonlarda, dondurarak kurutulanların ise daha sarımsı renkte olduğunu, mikro yapısal olarak, sprey kurutulmuş tozların içbükey küresel yapılarda ve gözenekli yüzeyde iken, dondurarak kurutulmuş tozlarda şerit benzeri boşluklar gözlemlemişlerdir. Proteomik analizlerde, dondurarak kurutulmuş tozlarda bağışıklıkla ilişkili proteinlerin (kompleman C3, C7, lizozim, laktoperoksidaz vb.) düzeyleri sprey kurutulmuşlara göre daha yüksek bulunduğunu, keçi sütü tozlarında lizozim ve kompleman faktör B düzeyleri artarken, sığır sütü tozlarında fibrinojen β zinciri ve kompleman C7'de artış, kolajen α-1 ve perilipin düzeylerinde azalma gözlemlemişlerdir. At sütü tozlarında da benzer şekilde bazı bağışıklıkla ilişkili proteinlerde artış olmuştur. Çalışmanın sonucu olarak dondurarak kurutmanın süt proteinlerinin yapısal ve fonksiyonel bütünlüğünü koruma açısından daha etkili olduğunu ve özellikle biyolojik değeri yüksek bileşenlerin stabilitesini sürdürmede avantaj sağladığını gözlemlemişlerdir.

Aalaei vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, sprey, dondurarak ve tambur kurutma yöntemleriyle elde edilen yağsız süt tozlarında Maillard reaksiyonunun ilerleyişi, kullanılabilir lizin düzeyi üzerinden değerlendirilmiş ve kurutma sonrası ürünler, dört farklı depolama koşulunda 200 gün boyunca izlenmiş ve lizin düzeylerindeki değişimi incelemişlerdir. Çalışmanın bulgularına göre, depolama süresi boyunca en düşük lizin kaybı dondurarak kurutulmuş numunelerde gözlenmiş, bunu sırasıyla sprey ve tambur kurutulmuş tozlar izlemiştir. Yüksek sıcaklık (30 °C) ve yüksek bağıl nem (%52) koşullarında tüm kurutma yöntemlerinde önemli miktarda lizin kaybı yaşanmış; bu oran dondurarak kurutma için %39.2, sprey kurutma için %42.7 ve tambur kurutma için %45.9 olmuştur. Buna karşın, düşük sıcaklık (20 °C) ve düşük nem (%33) koşullarında lizin düzeylerinde anlamlı bir değişiklik tespit etmemişlerdir. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda, kurutma teknolojisinin ve depolama ortamının kullanılabilir lizin içeriği üzerinde doğrudan etkili olduğunu ve özellikle dondurarak kurutma yönteminin lizin stabilitesini koruma açısından en avantajlı teknik olarak öne çıktığını gelecekte ise Maillard reaksiyonlarının daha kapsamlı izlenebilmesi için kullanılabilir lizine ek olarak başka biyobelirteçlerin de değerlendirilmesini önermektedir.

Tontul vd. (2018), refraktans pencereli (RW) kurutma yöntemi ile farklı sıcaklık ve kalınlıklarda üretilen yoğurt tozlarının fiziksel ve mikrobiyolojik özelliklerini, dondurarak kurutma yöntemiyle karşılaştırarak değerlendirmişlerdir. RW kurutma ile elde edilen tozlar, genel olarak daha iyi çözünürlük, yoğunluk, ıslanabilirlik ve akışkanlık değerleri göstermiştir. Ancak renk analizlerinde, RW kurutma yüksek sıcaklıklarda esmerleşmeye neden olmuş ve bu durum Maillard reaksiyonlarıyla ilişkilendirilmiştir. Mikrobiyolojik açıdan, her iki yöntemde de yoğurt bakterilerinde depolama süresince azalma olduğunu ve RW kurutma sırasında sıcaklık arttıkça bakteri canlılığı daha fazla etkilendiğini gözlemlemişlerdir ve en iyi mikrobiyal korumanın, 50 °C'de ve 1 mm kalınlığında kurutulan örneklerde elde etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmanın sonucunda RW kurutma yöntemi düşük sıcaklıklarda uygulandığında fiziksel kalite açısından etkili bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini ancak bakteri canlılığını sürdürebilmek için ısıya dayanıklı suşların veya koruyucu maddelerin kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır.

Tontul vd. (2021) refraktans pencereli (RW) kurutma yönteminin kefir tozu üretiminde uygulanabilirliğini araştırmış; elde edilen ürünlerin fiziksel ve mikrobiyolojik nitelikleri, dondurarak kurutma yöntemiyle karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar RW kurutmanın, daha kısa sürede tamamlanan bir işlem olmasına rağmen, özellikle 50 °C sıcaklıkta daha iyi çözünürlük,

ıslanabilirlik, akışkanlık ve düşük kohezyon gibi iyi fiziksel özellikler sunduğunu buna karşın, sıcaklık artışıyla birlikte renk parametrelerinde bozulmalar ve mikrobiyel canlılıkta belirgin düşüşler gözlemlemişlerdir. Dondurarak kurutulan kefir tozlarının, mikrobiyolojik açıdan daha yüksek canlılık oranları sergilediğini ancak RW yönteminin, özellikle düşük sıcaklıkta, yüksek verim ve kalite açısından umut vadeden bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini tespit etmişlerdir.

Motamedzadegan vd. (2022), yaptıkları çalışmada, farklı süt ve peynir altı suyu oranlarından elde edilen ricotta peyniri köpüklerinin köpük mat kurutma yöntemiyle toz haline getirilmesi, kurutma sıcaklıklarının (40, 55 ve 70 °C) etkilerini ve bu tozların fizikokimyasal ile duyusal özellikleri değerlendirmişlerdir. Köpüklerin hazırlanmasında albümin ve peynir altı suyu protein konsantresi köpürtücü; ksantan ve tere tohumu zamkları ise stabilizatör olarak kullanılmıştır. En iyi köpük özellikleri, %1 XG ve %3 albümin içeren tam süt (M100) ve tam peynir altı suyu (W100) bazlı örneklerde elde etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmanın sonuçlarında, kurutma sıcaklığının artışıyla tozların nem içeriği ve su aktivitesinde azalma; buna karşılık higroskopiklik, yağ ve su emme kapasitesinde artış ayrıca sıcaklıkla birlikte renk parametrelerinde L* artışı, a* ve b* düşüşü değişimleri meydana gelirken, mikroskobik analizlerde yüksek sıcaklıklarda daha gözenekli ve daha büyük partiküllerin oluştuğunu, duyusal analizlerde ise 40 °C'de kurutulan tam peynir altı suyu bazlı ricotta tozu (W100:M0), en yüksek beğeni puanını aldığını; tam süt bazlı tozların ise daha düşük kabul gördüğün gözlemlemişler ve sonuçlar, köpük mat kurutmanın ricotta gibi yüksek nemli peynir türleri için uygun bir yöntem olabileceğini ortaya koymuşlardır.

Simão vd. (2025), yarı yağlı düşük nemli mozzarella peynirinden mikrodalga vakumlu kurutma (MWVD) yöntemi ile elde edilen atıştırmalık ürünlerin özelliklerini değerlendirmişlerdir. Kurutma sonrası ürünlerin kuru madde içeriğinde %50'nin üzerinde protein bulunduğunu, MALDI-TOF analizleri sonucunda kurutma öncesi ve sonrası benzer protein profillerinin korunmuş olduğunu ve bu durumun protein yapısında belirgin bir yapısal bozulma olmadığını gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, ürünlerin sindirilebilirlik oranı %87–88 düzeyinde sabit kalmış; bu da MWVD'nin protein biyoyararlılığı üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını ve bununla birlikte, aroma bileşiminde meyvemsi karaktere sahip uçucu bileşiklerin (alkoller ve esterler) azaldığı, buna karşın asetik asit, asetoin ve toluen gibi keskin, tereyağlı ve tatlı aromalara katkı sağlayan bileşiklerin oranının arttığı belirlemişlerdir. Kurutulan peynir örneklerinde gözlenen gözenekli yapı nedeniyle ürünün çıtır bir doku kazanmasına neden olduğunu bulmuşlar ve bu durumu akustik-mekanik analizlerle doğrulamışlardır. Ayrıca MWVD işlemiyle kurutulan ürünlerin renk değerlerinde de değişiklik meydana gelmiş; kırmızılık değerlerinde artış, sarılık tonlarında ise azalma izlenmiştir. Genel olarak, MWVD teknolojisi kısa kurutma süresi, protein yapısını koruma kapasitesi ve optimize edilmiş aroma-doku özellikleri sayesinde fonksiyonel peynir atıştırmalıkları üretimi için uygun bir yöntem olarak öne çıktığını ancak aroma kayıplarının sınırlanması ve tüketici kabulüne yönelik duyusal analizlerin de ilerleyen çalışmalarda değerlendirilmesi, ürünün ticarileştirilme potansiyelini artıracağını ayrıca mikrodalga güç yoğunluğunun kontrolü gibi proses optimizasyonları, ürün kalitesinin ve enerji verimliliğinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceğini belirtmişlerdir.

Abbasi ve Hamidi-Esfahani (2010), yoğurdun kurutulmasında FD yöntemine alternatif olarak mikrodalga-vakum kurutma (MVD) teknolojisinin etkinliği değerlendirilmiştir. Farklı

kalınlıklarda (2.2, 4.2 ve 6.2 mm) hazırlanan yağsız yoğurt örnekleri, laboratuvar ölçekli bir sistemde çeşitli mikrodalga güçleri (35, 130 ve 260 W) ve mutlak basınç seviyeleri (60, 200, 400, 600 ve 800 mbar) altında kurutmuşlardır. Araştırmacılar elde edilen bulgulara göre, 2.2 mm kalınlığındaki örnekler için MVD ile kurutma süresi, FD yöntemine kıyasla yaklaşık %80 daha kısa sürdüğünü ve kuruma süresi üzerinde mikrodalga gücünün ve ürün kalınlığının etkisinin mutlak basınca göre daha belirleyici bulmuşlardır. Ayrıca ürün kalitesi açısından ise renk ve yığın yoğunluğu dışında, MVD ile elde edilen yoğurt tozlarının özellikleri FD ile oldukça benzerlik gösterdiğini özellikle düşük mikrodalga gücü (35 W) ve düşük basınç (60 mbar) kombinasyonunun FD ile elde edilen kalite özelliklerine en yakın sonuçları verdiğini bulmuşlardır. Sonuç olarak, mikrodalga-vakum kurutma yöntemi yalnızca yoğurt kurutulması için değil, aynı zamanda diğer gıda tozlarının üretiminde de dondurarak kurutmaya etkili bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini önermişlerdir.

3. SONUÇLAR

Literatür taraması sonucu, süt ve süt ürünlerinde tercih edilecek kurutma yönteminin ürünün türüne, son üründe aranan özelliklere, üretimin laboratuvar ölçekli ya da endüstriyel olacak olmasına göre değişebileceğini göstermektedir. Kurutma sonunda dikkat edilen enerji ve maliyet verimliliği, yapı ve tattaki değişimler, besin içeriği korunması ve benzeri parametreler yöntemlerin kendi içerisinde olumlu ya olumsuz olarak değişebilmektedir. Bundan dolayı yeni çalışmalar, yöntemlerin birbirleriyle birleştirilerek dezavantajlarını azaltmaya ya da gıda ürününde alışılmış kurutma yönteminin istenilen özelliğe göre daha uygun alternatifini bulmaya yönelik yapılmaya devam edilmelidir.

KAYNAKÇA

Abbasi, S., & Hamidi-Esfahani, Z. (2010). Yoghurt Powder Production Using a Microwave–Vacuum Drier. Iranian Food Science and Technology Research Journal, 6(3), 1–10. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v6i3.9104

Chamudeshwari Jakkamsetty, Parthasarathi Subramanian, Ali Rashidinejad (2024). Chapter 4 - Spray drying of milk and milk products. In S. M. Jafari & K. Samborska (Eds.), Spray Drying for the Food Industry (ss. 87–123). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819799-8.00002-8

Çağdaş, E., Kumcuğlu, S., & Tavman, Ş. (2011). Mikrodalga destekli vakum kurutma tekniği ve gıdaların kurutulmasında kullanımı. Academic Food Journal / Akademik GIDA, 9(1), 40–48.

Daştan, S., & İşleroğlu, H. (2020). Köpük kurutma işlemi ve son ürün üzerine kurutma koşullarının etkisi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, 9(2), 63–76.

Davidov-Pardo, G., Joye, I. J., & McClements, D. J. (2015). Food-grade protein-based nanoparticles and microparticles for bioactive delivery: Fabrication, characterization, and utilization. In R. Donev (Ed.), Advances in Protein Chemistry and Structural Biology (Vol. 98, ss. 293–325). Academic Press. https://doi.org/10.1016/bs.apcsb.2014.11.004

Dumpler, J., & Moraru, C. I. (2024). Microwave vacuum drying of dairy cream: Processing, reconstitution, and whipping properties of a novel dairy product. Journal of Dairy Science, 107(2), 774–789. https://doi.org/10.3168/jds.2023-23657

Elisama Rosa, Elane Schwinden Prudencio (2023). A comprehensive approach about comparison between drying technologies and powdered dairy products. Food Research International, 173 (Part 1), 113326. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113326

Felfoul, I., Burgain, J., Perroud, C., Gaiani, C., Scher, J., Attia, H., & Petit, J. (2020). Impact of spray-drying conditions on physicochemical properties and rehydration ability of skim dromedary and cow's milk powders. Drying Technology, 40(3), 665–677. https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1828448

Hardy, Z., & Jideani, V. A. (2017). Foam-mat drying technology: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(12), 2560–2572. https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1020359

Herrera, P. A., Santagapita, P. R., & Moreno, F. L. (2025). Refractance window drying: A new approach for producing high-quality powdered dairy products. Journal of Dairy Science, 108(3), 2324–2339. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25508

Hnin, K. K., Zhang, M., Devahastin, S., & Wang, B. (2019). Influence of Novel Infrared Freeze Drying of Rose Flavored Yogurt Melts on Their Physicochemical Properties, Bioactive Compounds and Energy Consumption. Food and Bioprocess Technology. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02368-x

Ismail Tontul, Firuze Ergin, Emrah Eroğlu, Ahmet Küçükçetin, Ayhan Topuz (2021). The impact of refractance window drying conditions on the physical and microbiological properties of kefir powder. Food Bioscience, 43, 101317. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101317

İlter Baysan, I., Eren, İ., & Kayaardı, S. (2024). Mikrodalga vakum kurutma teknolojisi. In F. Kaymak Ertekin (Ed.), Gıdaların kurutulmasında kullanılan yenilikçi kurutma teknolojileri (1. baskı, ss. 10–15). Türkiye Klinikleri.

İsmail Tontul, Firuze Ergin, Emrah Eroğlu, Ahmet Küçükçetin, Ayhan Topuz (2018). Physical and microbiological properties of yoghurt powder produced by refractance window drying. International Dairy Journal, 85, 169–176. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.06.002

Joel, J., Adu, E., & Salaudeen, K. (2023). Freeze drying – Application in food processing and storage (Review). Badeggi Journal of Agricultural Research and Environment, 5, 21–35. https://doi.org/10.35849/BJARE202302/97/003

Kataneh Aalaei, Marilyn Rayner, Ingegerd Sjöholm (2016). Storage stability of freeze-dried, spray-dried and drum-dried skim milk powders evaluated by available lysine. LWT, 73, 675–682. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.07.011

Knipschildt, M.E., Andersen, G.G. (1994). Drying of Milk and Milk Products. In R.K. Robinson (Ed.), Robinson: Modern Dairy Technology (pp. 79–100). Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2057-3_4

Kumar, M., Madhumita, M., Prabhakar, P. K., & Basu, S. (2022). Refractance window drying of food and biological materials: Status on mechanisms, diffusion modelling and hybrid drying approach. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 64(11), 3458–3481. https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2132210

Mahanti, N. K., Chakraborty, S. K., Sudhakar, A., Verma, D. K., Shankar, S., Thakur, M., Singh, S., Tripathy, S., Gupta, A. K., & Srivastav, P. P. (2021). Refractance Window™ drying vs. other drying methods and effect of different process parameters on quality of foods: A comprehensive review of trends and technological developments. Future Foods, 3, 100024. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100024

Motamedzadegan, A., Rahmani, S., Reza Kasaai, M., & Amiri, Z. R. (2022). Physicochemical and sensory characteristics of foam mat dried ricotta cheese as a function of raw material composition and drying temperature. Journal of Food Processing and Preservation, 46(1), e16510. https://doi.org/10.1111/jfpp.16510

Nowak, D., & Jakubczyk, E. (2020). The freeze-drying of foods – The characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials. Foods, 9(10), 1416. https://doi.org/10.3390/foods9101416

Özdemir, E. E., Görgüç, A., Gençdağ, E., & Yılmaz, F. M. (2021). Püskürtmeli kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerinin temelleri ve bu yöntemler ile gıda atıklarından toz ürünlerin üretimi. GIDA, 46(3), 583–607. https://doi.org/10.15237/gida.GD21009

Raquel S. Simão, Paula G. de Souza, Ricardo L. Monteiro, Cristiano J. de Andrade, João B. Laurindo, Bruno A.M. Carciofi (2025). Mozzarella cheese snacks produced by microwave vacuum drying: Protein profile, protein digestibility, flavor, and texture. Food Chemistry, 478, 143660. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.143660

Ratti, C. (2001). Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. Journal of Food Engineering, 49(4), 311–319. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4

Shichu Zhou, Xin Zhang, Junyu Zhang, Changjiang Zang, Rongbo Fan, Jun Wang, Tongjun Guo, Rongwei Han, Yongxin Yang (2025). Differences in physicochemical properties and proteomics analysis of spray- and freeze-dried milk powders from bovine, goat, and horse sources. Journal of Dairy Science, 108(2), 1367–1379. https://doi.org/10.3168/jds.2024-25146

Thakur, C., Kaushal, M., Vaidya, D., & others. (2025). Unlocking the potential of spray drying for agro-products: Exploring advanced techniques, carrier agents, applications, and limitations. Food and Bioprocess Technology, 18, 1181–1220. https://doi.org/10.1007/s11947-024-03544-4

Vega, C., & Roos, Y. H. (2006). Invited review: Spray-dried dairy and dairy-like emulsions—Compositional considerations. Journal of Dairy Science, 89(2), 383–401. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72103-8

Vicente, J., Pinto, J., Menezes, J., & Gaspar, F. (2013). Fundamental analysis of particle formation in spray drying. Powder Technology, 247, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.06.038

Waghmare, R. (2021). Refractance window drying: A cohort review on quality characteristics. Trends in Food Science & Technology, 110, 652–662. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.030

Yıldırım Özbek, Çağla & Güzeler, Nuray. (2013). Peyniraltı Suyu ve Yayıkaltının Toz Olarak Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 28, 121-130.

BİSKÜVİLERDE AMARANT UNUNUN AKRİLAMİD OLUŞUMUNA ETKİSİ

Gülşah ÇAVUŞ
Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü,
gulsahsatiroglu@gmail.com -0000-0002-2957-5815

Prof. Dr. Sibel KARAKAYA
Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü,
sibel.karakaya@ege.edu.tr - 0000-0001-5514-9521

ÖZET

Bu çalışmanın amacı üretimlerinde yüksek sıcaklık kullanılan fırın ürünlerinde buğday unu yerine yalancı tahıl kullanımının uluslararası gıda otoriteleri tarafından kanserojen olarak yayınlanan akrilamid oluşumu üzerine etkisinin olup olmayacağını ortaya koymaktır. Çalışmada, amarant, buğday ununa göre daha fazla protein içermesi ve bu proteinlerin de akrilamid öncülü olan asparajin içeriğine sahip olması sebebiyle tercih edilmiştir. Reçetelerinde %100 buğday unu, %100 amarant unu, %75 amarant unu (%25 buğday unu), %50 amarant unu (%50 buğday unu) içerecek şekilde hazırlanan ve 205 ̊C'de pişirilen bisküvilerin bileşen (nem, protein, yağ, kül, karbonhidrat), fizikokimyasal (yayılma oranı, pişme kaybı, sertlik ve gevreklik, su aktivitesi), spesifik olmayan Maillard reaksiyonu ürünlerinin tespiti (yüzey-CIELAB renkleri ve esmerleşme indeksi; 280nm, 360 nm,420 nm absorbans ölçümleri) ve HPLC-DAD metodu ile akrilamid miktarları belirlenmiştir. Tüm bisküvi çeşitleri arasında esmerleşme indeksi ve absorbans ölçümleri en yüksek %50 amarant unu ile hazırlanan bisküvilerde tespit edilmiştir. Amarant unu ile hazırlanan bisküvilerde buğday unu ile hazırlanan bisküvilere göre akrilamid miktarı daha fazla olmuş ve %100 amarant unu ile hazırlanan bisküvide 180.97±0.12 ppb ile en yüksek miktarda tespit edilmiştir. Bileşiminde %50 amarant unu bulunan bisküvilerde (178.25±1.11 ppb), %75 amarant unu ile hazırlanan bisküvilere göre (171.38±1.34 ppb) daha fazla akrilamid belirlenmiştir. Bu değer tamamı buğday unu kullanılarak yapılan bisküvilerde ise 150.92±0.66 ppb olarak saptanmıştır. Bu sonuçlarla paralel olarak su aktivitesi ve nem değerlerinin de %50 amarant unu içeren bisküvilerde %75 amarant unu içeren bisküvilere göre daha fazla, %100 amarant unu içerenlere göre ise daha az olduğu ortaya konmuştur. Bu sonuçlar ile gıda matrisinin akrilamid oluşumuna etkisi ve yalancı tahılların buğday ikamesi olarak fırıncılık ürünlerinde kullanımının akrilamid oluşumu açısından değerlendirilmesi gerekliliği ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: yalancı tahıl, buğday unu, Maillard reaksiyonu, esmerleşme indeksi, renk

THE EFFECT OF AMARANTH FLOUR ON ACRYLAMIDE FORMATION IN BISCUITS

Gülşah ÇAVUŞ
Ege University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering
gulsahsatiroglu@gmail.com – ORCID: 0000-0002-2957-5815

Prof. Dr. Sibel KARAKAYA
Ege University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering
sibel.karakaya@ege.edu.tr – ORCID: 0000-0001-5514-9521

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the potential impact of replacing wheat flour with a pseudocereal in baked goods, which are processed at high temperatures, on the formation of acrylamide—a compound classified as a potential carcinogen by international food authorities. Amaranth flour was selected due to its higher protein content compared to wheat flour, as well as its asparagine content, which serves as a precursor for acrylamide formation. Biscuits were formulated using 100% wheat flour, 100% amaranth flour, 75% amaranth flour (25% wheat flour), and 50% amaranth flour (50% wheat flour), and baked at 205 °C. The resulting products were analyzed for their composition (moisture, protein, fat, ash, carbohydrate), physicochemical properties (spread ratio, baking loss, hardness and fracturability, water activity), and nonspecific Maillard reaction products (surface color using CIELAB parameters, browning index, and absorbance at 280 nm, 360 nm, and 420 nm wavelengths). Acrylamide levels were determined using the HPLC-DAD method. Among all biscuit types, the highest browning index and absorbance values were observed in biscuits containing 50% amaranth flour. The highest acrylamide concentration (180.97±0.12 ppb) was detected in biscuits made with 100% amaranth flour. Biscuits with 50% amaranth flour had an acrylamide content of 178.25±1.11 ppb, followed by those with 75% amaranth flour at 171.3 ±1.34 ppb. Biscuits made entirely from wheat flour exhibited the lowest acrylamide concentration at 150.92±0.66 ppb. Water activity and moisture content followed a similar trend, with the higher values in biscuits containing 50% amaranth flour compared to 75% amaranth flour and lower than those with 100% amaranth flour. These findings highlight the influence of the food matrix on acrylamide formation and underscore the importance of evaluating pseudocereal use in bakery products with respect to acrylamide generation.

Keywords: pseudocereal, wheat flour, Maillard reaction, browning index, color

1.GİRİŞ

Yüksek sıcaklık uygulamalarında proteinlerin amino grupları ile karbonhidratların karboksil grupları arasında Maillard reaksiyonları oluşur (Galluzzo vd., 2021). Maillard reaksiyonu gıdaların tat, aroma, yapı ve renk özelliklerinin oluşmasına sebep olurken akrilamid gibi ısıl işlem kontaminantı oluşmasına da sebep olmaktadır

Uluslararası gıda otoriteleri akrilamidin karsinojenik, mutajenik ve nörotoksik olmak üzere farklı olumsuz etkilerini yayınlanmıştır. Gıdalarda akrilamid oluşumunun ciddi bir sağlık sorununa yol açtığı çeşitli çalışmalarda ortaya konmuş olup The European Food Safety Authority (EFSA) ve Joint Expert Committee in Food Additives and Contaminants (JEFCA) gıdalardaki akrilamidi riskli olarak kabul etmiştir (Galluzzo vd., 2021). EFSA 2011 yılında patates cipsi, kahve ve bebekler için hazırlanan ürünlerde akrilamid bulunduğunu açıklamıştır (EFSA, 2011). International Agency for Research on Cancer (IRCA) akrilamidi insan sağlığı için zararlı olarak tanımlanmış ve insan sağlığı için potansiyel kanserojen olarak 2A listesinde yayınlamıştır. 2002'de, İsviçre Ulusal Gıda otoritesi, akrilamidi ısıl işlem kontaminantı olarak deklare etmiştir (Löfstedt, 2003).

EFSA; akrilamid için önemli risk oluşturan gıdalar arasında bisküvileri de işaret etmektedir. Avrupa Birliği akrilamid üst sınırları için yasal düzenleme yayınlamıştır ve bu regülasyonda akrilamid üst sınırı bisküviler için 350 µg/kg'dir (EU 2017/2158). Fakat bazı çalışmalarda fırıncılık ürünlerinde 1044 µg/kg a kadar akrilamid içeriği tespit edilmiştir (Mousa ve Mousa, 2022).

Tahıl ürünleri akrilamid oluşumu konusunda mercek altına alınan önemli ürünlerdir. Günümüzde sıklıkla kullanılan tahıl bazlı gıdalarda genellikle buğday unu kullanılmakta fakat buğday unu içeriğindeki asparajin nedeniyle bisküvilerin de dahil olduğu birçok fırıncılık ürünleri için hazırlanmış olan Avrupa Birliği'nin yayınladığı akrilamid miktarlarının üzerinde akrilamid oluşumuna sebep olmaktadır. Akrilamidin insan sağlığını olumsuz olarak etkilemesi nedeniyle günümüzde sıklıkla tüketilen tahıl bazlı gıdalarda akrilamid oluşumunun incelenmesi üzerine yapılan çalışmalar önem kazanmaktadır.

Son yıllarda glutensiz ürünlere yönelik ilginin ve sürdürülebilir protein kaynaklarına ait farkındalığın artması yalancı tahılların geçmişe göre çok daha fazla miktarda tüketiciye ulaşmasına yol açmıştır (Baykut,2011). Hem çölyak hastalarına hem de glutensiz beslenmeye özen gösteren bireylere yönelik olarak son yıllarda gluten içermeyen ürün yelpazesini genişletmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu ürünlerde, yalancı tahıllar olarak bilenen karabuğday, amarant ve kinoanın kullanımı giderek artmaktadır (Baykut, 2021).

Yalancı tahıllar yüksek nişasta içeriği ve fiziksel görünüşlerinin benzerliği sebebiyle *Poacea* ailesinin dicotyledonous cinsindendir. Yalancı tahıllar yüksek genetik çeşitliliği ve tropikal şartlardan ılıman iklim koşullarına kadar farklı çevre koşullarında yetişmesi sebebiyle avantajlı ve gelecek için umut vericidir. Yalancı tahılların %10-20 si proteindir ve protein kalitesinin tahıl ve bazı baklagillere göre daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Malik vd., 2022). Yalancı tahıllar arasında en nadir kullanılanı amaranttır. Horozibiğigiller (*Amaranthaceae*) familyasındandır. Kökeni Peru, Meksika, Guatemala'dır. Protein (%15 civarinda) içeriği yüksek olup lizin, kükürtlü aminoasitler ve çocuk beslenmesi için önemli arjinin ile histidin amino asitlerince de zengindir. Ortalama %25 oranında beta-glukan içerir ve bu oran tahıllara göre yüksektir. Karotenoid, mineraller, squalen, E vitamini ve fitosteroller içeriği yüksektir. (L. Graf vd,2015; Meza vd 2023; Venskutonis ve Kraujalis,2013; Coelho vd 2018) Bu makro ve mikro besin içerikleri sayesinde kardiyovasküler sağlık, kolon ve karaciğer sağlığı, cilt sağlığı, nöroprotektif etki, antitümör etki, antikanser, anti inflamasyon, antioksidan, antidiyabetik etkilere sahiptir (Thakur vd,2021).

Yalancı tahıllar protein içerikleri nedeniyle gıda işleme sırasında akrilamid oluşumuna zemin oluşturmaya uygun gıdalardır. Yalancı tahıllar protein içeriği ve zorunlu aminoasitleri içermeleri nedeniyle gelecekteki sürdürülebilirlik çözümleri için iyi bir alternatiftir (Alonso-Miravalles ve Mahony, 2018; Silva vd., 2021). Bu nedenle sürdürülebilir protein kaynakları olarak kullanımları özendirilebilir ki bu da Maillard reaksiyonu ürünleri ve özellikle akrilamid için kaynak olma potansiyellerinin gündeme gelmesine neden olabilir. Yalancı tahılların amino asit profilleri incelendiğinde akrilamid reaksiyonunun reaktantı olan asparajin amino asidini içerdikleri görülmektedir. Bu nedenle yalancı tahıllar ile yapılan ürünlerde de akrilamid oluşma olasılığı göz ardı edilmemeli, akrilamidin oluşturduğu risk açısından tüketimlerinin kontrol altına alınması gereklidir.

Bu çalışmada bisküvilere yalancı tahıl olarak amarant unu eklenmesi ile gıda işleme sırasında akrilamid oluşumu üzerine etkisinin olup olmadığı ve farklı oranlarda (%50, /75,%100) amarant unu kullanımı ile elde edilen farklı gıda matrislerinin akrilamid oluşumu üzerine etkisi incelenmiştir.

2.MATERYAL VE METOT

2.1.Materyaller

Buğday unu: Türk Gıda Kodeksi Buğday Unu Tebliği'ne uygun olarak üretilmiş olan özel amaçlı buğday unu. Buğday ununun besin etiketindeki değerler (100 g için) enerji; 350 kcal, yağ; 1,0 g, toplam karbonhidrat; 75,8 g, protein; 11,1 g, kül en az %1,2'dir. Amarant unu için bu değerler (100 g için) enerji; 365 kcal, yağ; 5,5 g, toplam karbonhidrat; 59 g, protein; 16,1 g, nem maksimum %15, kül maksimum %3'tür.

2.2. Metot

%100 buğday unu, %100 Amarant unu, %50Amarant ve %50 buğday unu,%75 Amarant ve %25 buğday unu ile hazırlanan bisküviler için protein, kül, yağ, karbonhidrat, enerji değerleri ;yayılma oranı, pişme kaybı, sertlik, gevreklik değerleri; tespit edilmiş olup Maillard reaksiyonları için önemli parametreler olan nem, su aktivitesi, pH analizleri yapılmıştır. CIELAB renk değerleri tespit edilmiş, spesifik olmayan Maillard reaksiyonu ürünü ısıl işlem kontaminantlarının göstergesi esmerleşme indeksi ile absorbans değerleri tespit edilmiş ve akrilamid miktarları hesaplanmıştır.

2.2.1. Bisküvi Yapımı

Bisküvi reçetesinde AACC Metot 10-54D modifiye edilerek kullanılmıştır. Bisküvi reçetelerinde yalancı tahıl ve buğday ununun yanı sıra öğütülmüş şeker, margarin, tuz, su, yağsız süt tozu, amonyum bikarbonat, sodyum bikarbonat kullanılmıştır. Unlar %100 buğday unu, %100 amarant unu , %50 amarant %50 buğday unu , %75 amarant %25 buğday unu olacak şekilde kullanılmıştır. Bisküvi reçetesinde 40 g un için şeker 17,4 g, tuz 0,5 g, su 8,8 g, yağsız süt tozu 0,4 g, sodyum bikarbonat 0,4 g, amonyum bikarbonat 0,2 g olarak kullanılmıştır. Margarin miktarı %100 buğday unu için 16 g, %100 amarant için 14,2 g, %50 buğday %50 amarant için 15,1 g,%75 amarant %25 buğday unu için 14,65 g kullanılmıştır. Şekillendirilen hamurlar (çap: 5 cm; yükseklik: 5 mm) 205 ^{0}C de Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü Beslenme laboratuvarında bulunan Arçelik marka 9629CMS model fırında pişirilmiştir.

2.2.2. Pişme kaybı

Bisküvinin pişme öncesi toplam hamur ağırlığı ve pişirildikten sonraki ağırlığı saptanmış ve aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. (AACC, 2000).

Pişme kaybı $= \frac{(Hamur\ ağırlığı - pişmiş\ ağırlık) x100}{Hamur\ ağırlığı}$

2.2.3. Yayılma oranı

Bisküviler pişirildikten bir saat sonra örneklerin çap (W) ölçümü ve kalınlık (T) ölçümü yapılmıştır. Yayılma oranı, çap ortalamasının (W) kalınlık (T) ortalamasına oranı ile hesaplanmıştır (AACC, 2000).

Yayılma oranı = W / T
W: çap uzunluğu (mm)
T: kalınlık (mm)

2.2.4. Tekstür analizi

Bisküvilerin sertliği tekstür analiz cihazı (TA-XTplus, Texture Analyzer, İngiltere) ve üç noktada kırma başlığı (HDP/3PB 3-Point bending rig) kullanılarak belirlenmiştir. Bisküvilerin sertlik (g), gevreklik (mm) değerleri saptanmıştır.

2.2.5. Nem ve Kuru Madde Tayini

Örneklerin nem ve kül tayinleri AOAC (2005)'e göre belirlenmiştir. Öğütülmüş bisküvi örneklerinden 2 g tartılıp vakumlu etüvde (100 mmHg) sabit tartıma gelene kadar bekletildikten sonra ağırlığı ölçülerek, aşağıdaki formülden nem miktarı hesaplanmıştır.

% Nem $= \frac{Ağırlık\ farkı}{İlk\ tartım} x100$

Toplam kuru madde miktarı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

% Toplam kuru madde oranı = 100 – nem miktarı

2.2.6.Kül Tayini

Kül içeriğinin belirlenmesinde 3 g örnek tartılıp porselen krozeler de ön yakma işlemi uygulanmıştır. Yakma işlemi sonrası tartım yapılarak, kül miktarı aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir (Cemeroğlu, 2010).

% Kül $\frac{Son\ tartım}{İlk\ tartım} x100$

2.2.7. Protein tayini

Buğday, amarant unlu bisküvilerin protein miktarı Kjeldahl yöntemine (method 990.03; AOAC, 2006) göre belirlenmiştir. Yöntem kısaca yakma, destilasyon ve titrasyon aşamasından oluşmaktadır. Protein miktarı (%) aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

%Toplam Azot (N) = $\frac{(S-Stanık) xFx0.0014x100}{Örnek\ miktarı}$

%Protein = % N x 6.25

S: Örnek için titrasyonda harcanan HCl hacmi (mL) S kör : Kör için harcanan HCl hacmi (mL)

2.2.8. Toplam yağ miktarı

Pişme kayıpları da göz önünde bulundurularak reçete üzerinden hesaplama yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

2.2.9. Toplam karbonhidrat miktarı

Nem, kül, toplam yağ ve protein miktarlarının belirlenmesinin ardından toplam karbonhidrat miktarı fark yöntemi ile belirlenmiştir (AOAC, 2007).

2.2.10. Enerji değerinin hesaplanması

Gıdaların protein, yağ, karbonhidrat ve diyet lifi analizlerinde elde edilen verilerle enerji değeri hesaplanmıştır (enerji faktörü yağ için 9 kcal/g; protein ve karbonhidrat için 4 kcal/g olarak alınacaktır)

2.2.11. Su aktivitesi (aw)

Örneklerdeki su aktivitesi ölçümü Testo 350 XL-Testo 454 cihazı ile yapılmıştır (Testo, Freiburg, Almanya).

2.2.12. pH

Örneklerde pH ölçümü pH metre yardımıyla potansiyometrik olarak belirlenmiştir. Tüm ölçümler WTW InoLab pH7110) Almanya cihazı ile 20 ^{0}C'de gerçekleşmiştir.

2.2.13. Spesifik Olmayan Maillard Ürünleri Tespiti Renk, Esmerleşme İndeksi ve Absorbans Ölçümleri

Renk ölçümleri için L^* (parlaklık), a^* (+ kırmızı, - yeşil), b^* (+ sarı, - mavi) değerleri CIELAB sistemine göre Konica Minolta CR-400 renk ölçüm cihazı ile numuneler öğütüldükten sonra homojen şekilde renk kabına yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Esmerleşme İndeksi (BI) aşağıdaki formülden hesaplanmıştır (Chudy vd., 2019) .

$$\mathrm{BI} = \frac{100.\left[\frac{(a+1{,}75*L)}{(5{,}645*L+a-3{,}012*b)} - 0{,}31\right]}{0{,}17}$$

Absorbans ölçümleri UV spektrofotometre ile (Cary 60UV-Vis Agilent Technologies, Avustralya) ile Delgado-Andrade vd., (2010) a göre yapılmıştır. Düşük molekül ağırlıklı erken MR ürünleri 280 nm, daha yoğun ağırlıklı olanlar 360 nm, en yüksek ağırlığa sahip olan melanoidinler 420 nm de absorbanslar alınarak belirlenmiştir.

2.2.14. Akrilamid Tayini

Ekstraksiyon öncesi öğütülen örneklerden 1 g alınarak üzerine 9 mL 10 mM formik asit eklendikten sonra bir vorteks karıştırıcıda 3 dakika boyunca ekstrakte edilmiştir. Daha sonra 0.5 mL Carrez I ve 0.5 mL Carrez II çözeltisi ilave edilerek 5000 x g hızda 0°C, 10 dakika santrifüjleme işlemine tabii tutulmuştur. Santrifüjleme sonunda üst fazda toplanan yağ tabakası bir spatül yardımıyla uzaklaştırılmış ve süpernatant başka bir tüpe aktarılmıştır. Tüpte kalan reaktant üzerine tekrar 5 mL 10 mM formik asit ilave edilerek 2 dakika vortekslenerek ve 5000 x g hızda 10 dakika soğukta santrifüjlenerek elde edilen ve yağı ayrılan süpernatant, birinci ekstraksiyon basamağında elde edilen süpernatantla birleştirilmiştir. Aynı ekstraksiyon işlemi dört defa tekrarlanarak, tüm süpernatantlar bir araya getirilmiştir. Elde edilen süpernatantların tam olarak karışmalarının sağlanması amacıyla 1 dakika boyunca vortekslenmiştir. Ekstraksiyon basamaklarında süpernatantların ayrılması sırasında karışan katı reaktant partiküllerinin uzaklaştırılması amacıyla 10.000 x g hızda 5 dakika daha santrifüjlenmiştir. (Gökmen vd.2009) Elde edilen berrak ekstrakt, 0.45 µm'lik naylon filtreden geçirilerek HPLC'de analizi için viallere alınmıştır.

Kromatografik Koşullar; (Wang ve arkadaşları , 2013)

- Thermo Scientific, Hypersil™ ODS C18 kolonda (4.6 x 250 mm, 5 µm) gerçekleştirilmiştir.
- Kolon sıcaklığı: 30 ºC
- Mobil faz: % 0.1 formik asit içeren su: asetonitril (90:10, v/v)
- Akış hızı: 0,2 mL/dk
- Enjeksiyon hacmi 10 µL, ve analiz süresi 26 dk
- Dalga boyu: 210 nm

2.3. İstatistiksel Analiz

Örnekler için çalışılan tüm analizlerin verileri SPSS 25 paket programı kullanılarak varyans analizi ile (ANOVA) ve Tukey testi ile değerlendirilmiştir. İstatistiksel farklılıklar $p \leq 0.05$ önem seviyesinde Duncan çoklu karşılaştırma metotları ile değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bisküvi örneklerinin besin öğesi değerleri **Çizelge.1** ‘de sunulmuştur.

Çizelge.1. Bisküvilerin Enerji ve Besin Öğesi Değerleri

Bisküvi Çeşidi	Nem(%)*	Protein (%)*	Kül (%)*	Yağ(%)*	Karbonhidrat (%) *	Enerji (kcal)*
%100B	5,59±0,48^{a}	6,56±0,05^{a}	1,16±0,01^{a}	23,51	63,42±0,52^{a}	489,35±1,91^{a}
%50A%50B	4,87±0,32^{a}	8,01±0,09^{b}	1,39±0,02^{b}	23.35	62,37±0,26^{b}	491,69±1,36^{ab}
%75A%25B	4,46±0,44^{a}	8,50±0,02^{c}	1,85±0,04^{c}	23.38	62,00±0,47^{b}	490,70±1,93^{a}
%100A	5,21±0,45^{a}	8,81±0,03^{d}	2,01±0,06^{d}	23.53	60,7±0,45^{a}	487,05±2,38^{ac}

100B: %100 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, %50A%50B: %50 Amarant unu ve %50 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, %75%25B: %75 Amarant unu ve %25 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, 100A: %100 Amarant unu ile hazırlanan bisküvi

*Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

$^{a-d}$: Farklı harfler aynı sütundaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı gösterir ($p<0,05$).

Tekstür özellikleri bakımından örnekler incelendiğinde sertlik değerleri en fazla %100 amarant unu ile hazırlanan bisküvilerde olup en az sertlik değeri %50 amarant unu ile hazırlanan bisküvilerde tespit edilmiştir. %100 yalancı tahıl ile yapılan bisküvi ve ekmek gibi diğer ürünlerde %100 buğday unu ile yapılanlarına göre sertlik değerlerinde artış gösterdiği bazı çalışmalar ile ortaya konmuştur (Graziano vd., 2022). Gevreklik değerleri ise en fazla %100 buğday unu ile hazırlanan bisküvilerde en az %100 amarant unu ile hazırlanan bisküvilerde tespit edilmiştir.

Örneklerin nem değerlerinin TS2383 Bisküvi standardına uygun olduğu belirlenmiştir (nem oranı <%6). Örneklerin pH değerleri ise literatür ile uyumludur. Buğday unu ile üretilen bisküvi örneklerinde pH değerlerinin (pH 8-9) civarında olduğu belirtilmektedir (Açar, 2010). Maillard reaksiyonları için önemli parametreler olan nem, su aktivitesi ve pH en yüksek %100 buğday unu ile hazırlanan bisküvilerde en az ise %50 amarant unu ile hazırlanan bisküvilerde tespit

edilmiştir. Bunun sebebi Mancebo ve ark. (2015)'in belirttiği gibi tahıl ve yalancı tahıl karışımı ile hazırlanan fırıncılık ürünlerinde zayıf gluten ağı oluşması ve yüksek sıcaklık ile bu zayıf gluten ağının hızlı bir şekilde çökmesidir. Gluten ağının hızlı çöküşü nem, su aktivitesi ve pH değerlerinde diğer çeşitlere göre daha düşük değerlerin tespitine neden olmaktadır.

Bisküvi örneklerinin yayılma oranı, pişme kaybı, sertlik, gevreklik değerleri, su aktivitesi, pH sonuçları **Çizelge.2'de** sunulmuştur.

Çizelge 2. Bisküvilerin Fizikokimyasal Özellikleri

Bisküvi Çeşidi	Yayılma Oranı*	Pişme Kaybı (%)*	Su aktivitesi*	pH*	Sertlik (g)	Gevreklik (mm)*
%100B	6,13±0,01^{a}	15,11±0,08^{a}	0,43±0,01^{a}	8,86±0,66^{a}	1427,32	37,84±0,41^{a}
%50A%50B	7,22±0,21^{b}	15,00±0,02^{a}	0,37±0,01^{b}	7,14±0,40^{b}	1609,73	37,48±0,41^{a}
%75A%25B	7,19±0,12^{b}	15,08±0,03^{a}	0,34±0,01^{c}	7,04±0,40^{b}	1934,11	37,30±0,22^{a}
%100A	7,39±0,18^{b}	14,61±0,08^{b}	0,40±0,02^{b}	7,70±0,80^{ab}	1946,15	36,70±0,30^{a}

100B: %100 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, %50A%50B: %50 Amarant unu ve %50 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, %75%25B: %75 Amarant unu ve %25 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, 100A: %100 Amarant unu ile hazırlanan bisküvi

*Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

$^{a-c}$: Farklı harfler aynı sütundaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı gösterir ($p<0,05$).

Amarant unlu bisküvilerde pişme kaybının azaldığı gözlemlenmiş (Hussain ve Kaul, 2018). Amarant unu ile yapılan bisküvilerde yayılma oranının arttığı tespit edilmiştir (Chauhan vd, 2016). Amarant unu ile yapılan bisküvilerde buğday unlu bisküviye göre sertlik değerinde artış tespit edilmiş olup bu sonuç literatüre araştırmalarında amarant unu ile bisküvi üzerine çalışılan bazı çalışmalarda da aynı şekildedir (Graziano vd.2022; Mancebo vd.,2015). Gevreklik değerleri çalışmadaki tüm bisküvi çeşitleri karşılaştırıldığında aralarında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

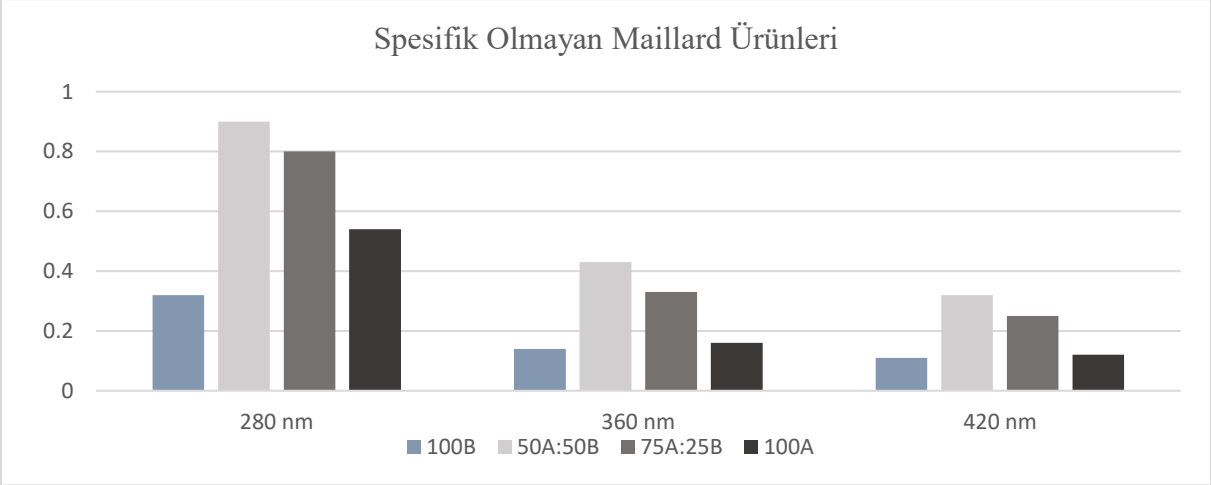
TS2383 Bisküvi Standardı buğday unlu bisküvi için nem oranı maksimum %6'dır. Bu çalışmada bisküvilerin nem aralığı %4.5-5.5'tir. En yüksek nem oranı %100 B'de, en az %75A%25B 'de tespit edilmiştir. Amarant unlu bisküviler arasında nem değeri en çok %100A 'da tespit edilmiş olup %50A%50B bisküvilerde %75A%25B bisküvilere göre daha fazla tespit edilmiştir.

0.35-0.56 aralığındaki su aktivitesine sahip bisküvilerin saklama için ideal olduğu bilinmektedir (Mitrevski vd.,2023; Rifai ve Saleh, 2020). Bu çalışmada benzer su aktivitesi aralığında çalışılmıştır. 0.43 su aktivitesi ile en yüksek %100 buğday unlu bisküvidedir, en az su aktivitesine 0,34±0,01 ile %75A%25B bisküviler sahiptir. Su aktivitesi Amarant unlu bisküviler arasında en çok %100A, %50A%50 B de ise %75A%25B bisküvilere göre daha çok tespit edilmiştir.

Buğday unu ile üretilen bisküvi örneklerinde pH değerlerinin (pH 8-9) civarında olduğu belirtilmektedir (Açar, 2010). Nem ve su aktivitesi sonuçlarına benzer eğilim ile pH sonuçları da En yüksek pH %100 B'de, en az %75A%25B 'de tespit edilmiştir. Amarant unlu bisküviler

arasında pH en çok %100A 'da tespit edilmiş olup %50A%50B bisküvilerde %75A%25B bisküvilere göre daha fazla tespit edilmiştir.

70 ̊C'nin üstünde amarant proteinleri 5 dakika gibi bir süre içinde hızlıca jelleşmektedir. Globulinler hızlı bir şekilde denatüre olup protein molekülleri arasındaki sülfidril/disülfit değişimleri ile jelleşme gerçekleşmektedir. Bu durum gıda yapısında çökme olarak gözlenmektedir (de la Barca vd., 2010). Bisküvilerde çok limitli bir gluten ağı oluştuğu bilinmektedir (Mancebo vd., 2015). Nem, su aktivitesi ve pH değerlerinde çalışma kapsamındaki farklı gıda matrislerindeki sonuçların sebebinin limitli gluten ağındaki çökme sebebiyle %75 amarant unlu bisküvilerde en az tespit edildiği düşünülmektedir.



Grafik.1.Spesifik Maillard Ürünleri

Çalışmadaki bisküvi örneklerinin toplam Maillard ürünleri tespiti için spektorofotometrik ölçüm yapılıp erken Maillard ürünleri 280 nm 'de, daha ileri Maillard ürünleri 360 nm'de, yüksek molekül ağırlıklı Maillard ürünleri 420 nm'deki ölçümlerle değerlendirilmiştir (Delgado-Andrade vd., 2010). Bu sonuçlara göre düşük, orta ve yüksek molekül ağırlıklı Maillard ürünleri en fazla %50A%50B örneklerde tespit edilmiştir. Her üç gruptaki Maillard ürünleri %100B örneklerinde Amarant unlu örneklere göre az olup, Amarant unu oranı arttıkça azalmıştır.

Bisküvi örneklerinin CIELAB renk sonuçları, esmerleşme indeksleri ve akrilamid miktarları **Çizelge.3**'de sunulmuştur.

Çizelge 3. Bisküvilerin renk değerleri ve esmerleşme indeksi

Bisküvi Çeşidi	*L**	*a**	*b**	BI	Akrilamid (ppb)
%100B	79,11±1,35^{a}	1,14±0,09^{a}	25,98±0,71^{ab}	38,50±2,11^{a}	150.92±0.66 ^{a}
%50A%50B	70,78±0,70^{b}	2,29±0,12^{b}	26,55±0,25^{a}	46,69±0,77^{b}	178.25±1.11 ^{b}
%75A%25B	71,07±0,52^{b}	2,64±0,20^{c}	25,30±0,41^{ab}	44,22±0,90^{b}	171.38±1.34 ^{c}
%100A	72,16±0,21^{b}	2,81±0,19^{d}	23,84±0,70^{c}	40,66±1,55^{a}	180.97±0.12 ^{d}

100B: %100 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, %50A%50B: %50 Amarant unu ve %50 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, %75%25B: %75 Amarant unu ve %25 Buğday unu ile hazırlanan bisküvi, 100A: %100 Amarant unu ile hazırlanan bisküvi

Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

[a-d] : Farklı harfler aynı sütundaki değerler arasındaki istatistiksel farklılığı gösterir ($p<0,05$).

Amarant oranı arttıkça *a** değeri artmış olup *L** değeri Amarant unlu bisküvilerde daha az tespit edilmiştir. Hussein ve ark. (2023) ve Hidalgo ve ark. (2018) 'de yalancı tahıl içeren bisküvilerde yaptığı çalışmada da yalancı tahıl unu un oranı arttıkça daha koyu renkli bisküviler elde edildiği ve *L** değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada elde ettiğimiz sonuca benzer olarak *a** değeri yalancı tahıl oranı arttıkça artmıştır. Başka bir çalışmada *L** değerinin protein içeriği ile ilişkili olduğu, yalancı tahıl ilavesi ile protein miktarı arttığı ve *L** değerinin azaldığı belirtilmiştir (TV, 2014). Yapılan diğer bir çalışmada da *L** değeri ile metilglioksal, 3-deoksiglukoz, akrilamid ve 5-hidroksimetilfurfural arasında ters ilişki olduğunu belirtilmektedir (Dong vd., 2022).

Bisküvi örneklerinde esmerleşmenin şeker karamelizasyonu ve Maillard reaksiyonu sebebiyle oluştuğu bilinmektedir (Hussein vd., 2023). Bu çalışmada örnekler için şeker oranları sabit tutularak Maillard reaksiyonları sebebiyle oluşan esmerleşmeye odaklanılmıştır. Esmerleşme indeksi ile Maillard ürünleri arasında bir ilişki olduğu bilinmektedir (Martinez-Alvarenga vd.,2014). Bisküvilerin yüzey CIELAB renk değerleri ve bu değerler ile hesaplanan esmerleşme indeksinin Amarant unu içeren bisküvilerde daha çok tespit edilmiştir. Toplam Maillard ürünleri sonuçlarına benzer şekilde esmerleşme indeksi %50 Amarant unu içeren bisküvilerde en fazla bulunmuş olup bisküvilerdeki amarant unu oranı arttıkça bu değer azalmıştır. *L** değerleri enzimatik olmayan esmerleşmenin derecesiyle oldukça ilişkili olduğu; düşük bir *L** değerinin gıda yüzeyinde daha fazla esmerleşme anlamına geldiği bilinmektedir (Dong vd., 2022). Esmerleşme indeksi ile tespit edilen Maillard ürünü yoğunluğu akrilamid dışında 5-hydroxymethylfurfural gibi başka bir Maillard ürününlerinden de kaynaklanabilir (Ertop ve Sarikaya,2017).

Akrilamid öncülü olan asparajinden yola çıkarak akrilamid ile ilgili bir değerlendirme yapıldığında; amarantta yaklaşık 2,97 g asparajin /100 g protein, buğdayda 5 g asparajin /100 g protein olduğu bilinmektedir (Tsochatzis vd., 2019; Procopet ve Oroian, 2022). Çalışma kapsamında elde edilen bisküvilerin protein miktarları %100B için 6,56 ± 0,05, %50A%50B için 8,01 ± 0,09, %75A%25B için 8,50± 0,02, %100 amarant unlu bisküvi için 8,81 ± 0,03 olarak tespit edilmiştir. Bisküvilerdeki asparajin miktarları teorik olarak hesaplandığında %100 buğday unlu bisküvi için 0,328 g, %50 amarant unlu bisküvi için 0,320 g, %75 amarant unlu bisküvide 0,301, %100 amarant unlu bisküvi için 0,262 g değerleri elde edilmektedir. Bu değerler birbirine yakındır.

Maillard ürünlerinden olan akrilamidi spesifik olarak HPLC-DAD metodu ile analiz ettiğimizde %100 buğday ununda 150.92±0.66 ppb miktarında tespit edilmiştir. Laboratuvarda üretilen tatlı bisküvilerde 150-200 ppb aralığında akrilamid tespit edilen çalışmalar mevcuttur (L. Gonz´alez-Mulero,2022; Hamzalıoğlu ve Gökmen,2015). Bu çalışmada akrilamid miktarı en fazla %100 amarant ununda 180.97±0.12 ppb miktarında tespit edilmiştir.

%50A%50B örneklerde 178.25±1.11 ppb akrilamid tespit edilmiştir olup bu değer %75A%25B örneklere (171.38±1.34 ppb) göre fazladır. Teorik asparajin miktarı %50A%50B bisküvilerin %75A%25B bisküvilere göre fazla olması ile birlikte gıda matrisi etkisi ile gluten ağındaki çökme, pişme kaybındaki artış, nem, su aktivitesi gibi değerlerdeki değişim bütünsel olarak

gıda matrisi etkisi olarak değerlendirildiğinde %50A%50B örneklerin %75A%25B örneklere göre daha fazla çok akrilamid içermesinin sonucu kaçınılmazdır.

%100 amarant unu ile hazırlanan bisküvilerde en yüksek miktarda akrilamid tespit edilmesinin amarant unununun makro ve mikro besin öğesi içerikleriyle sahip olduğu gıda matrisi etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Akrilamid reaksiyonunun ana mekanizmasının asparajin aminoasidi ile indirgen şeker reaksiyonu olduğu bilinmektedir ve teorik hesaplamalarda da amarant unlu bisküvinin buğday unlu bisküviye yakın miktarda asparajin içerdiği görülmektedir. Bu ana mekanizmanın yanında farklı yollarda da akrilamid oluşabildiği bazı çalışmalarda belirtilmiş olup örneğin oktanal, dekanal gibi bileşiklerin indirgen şeker yerine geçip akrilamid oluşumu açısından benzer sonuçları verdiği ortay konmuştur (Nizamoğlu ve Nas, 2019). Amarant unun yağ içeriğinin buğday ununa göre daha fazla olmasının bu duruma sebep olabileceği değerlendirilmiştir. Ek olarak antioksidanlar ve akrilamid oluşumu üzerine farklı çalışma sonuçları vardır, antioksidanlar bazen akrilamid düşürücü bazen de akrilamid oluşumunu destekleyici sonuçlara sebep olmuşlardır (Jin vd., 2013). Amarant unun antioksidan içeriğinin olduğu bilindiği için %100 amarant unlu bisküvilerde daha fazla akrilamid olması konusunda bu durum da düşünülebilir. Dolayısıyla, gıda matrisi etkisi ve akrilamid oluşum mekanizmasının optimum koşullarının sağlanması ile %100 amarant unlu bisküvide en fazla miktarda akrilamid oluşumunun tespit edilmiştir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER:

Buğday ununa alternatif olarak düşünülen yalancı tahılları kanserojen ve mutajenik etkileri olan Maillard ürünleri ve akrilamid oluşumu açısından değerlendirdiğimizde sonuçlar dikkat çekicidir. Tüm karbonhidrat ve protein içeren gıdalarda Maillard reaksiyonu ürünlerini benzer şekilde oluştuğu tahmin edilse bile gıda matriksinin ısıl işlem kontaminatlarının oluşumunu farklı şekilde etkilediği görülebilmektedir. Amarant veya diğer yalancı tahılların özellikle sürdürülebilir protein kaynağı olma özellikleri ve sağlığa çeşitli faydaları ile günümüzde artan düzeyde birçok insanın diyetinde yer aldığı ve gelecekte de diyetin önemli bir parçası olacakları düşünülmektedir. Gıda güvenliğinin bütünsel yaklaşımı gereği yalancı tahılların beslenme, sağlık etkilerinin yanı sıra gıda kontaminantları açısından da değerlendirilmeleri gerekli ve önemlidir. Fırıncılık ürünlerinde sağlığa olumsuz etkisi olduğu bilinen akrilamid gibi gıda kontaminantları açısından yalancı tahıllar dikkatlice incelenmelidir. İlerleyen süreçlerde farklı yalancı tahıl çeşitleri ile bisküvilerde oluşan akrilamidin biyoerişilebilirliği üzerine araştırılmalar yapılacaktır. Çalışmalarda amarantın farklı gıda matrislerinde ele alınması ve incelenmesi gerekir.

5. REFERANSLAR:

AACC. (2000). *Approved methods of the American association of cereal chemists* (10th ed.). St Paul: Association of Cereal Chemists.

Association of Official Analytical Chemistry (AOAC),2005: *Official Methods of Ana-lysis of AOAC Internationa*l, 18th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.

AOAC official method 990.03, (2006). Protein (crude) in animal feed, combustion method. Official methods of analysis of AOAC International. 18th ed. Gaithersburg: ASA-SSA Inc.

Açar, Ç.Ö., (2010) *Bisküvi Benzeri Ürünlerde Pişirme Sırasında Termal Proses Kontaminantlarının Oluşumunun İncelenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi)*

Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2018). Composition, protein profile and rheological properties of pseudocereal-based protein-rich ingredients. Foods, 7(5), 73.

Baykut E., D., (2021) Bazı tahıl benzeri ürünlerin ürünlerin besin içeriği ve gıda endütrisinde kullanımı. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (23) 89-98

Cemeroğlu, B., 2010. Gıda analizlerinde genel yöntemler, Gıda Analizleri, Ed: B. Cemeroğlu. Gıda Teknolojisi Yayınları, No:34, Ankara, 48-125

Chudy, S., Makowska, A., Piątek, M. and Krzywdzińska-Bartkowiak, M., 2019, Application of microwave vacuum drying for snack production: Characteristics of pure cheese puffs, International Journal of Dairy Technology, 72(1):82-88.

Coelho, L. M., Silva, P. M., Martins, J. T., Pinheiro, A. C., & Vicente, A. A. (2018). Emerging opportunities in exploring the nutritional/functional value of amaranth. Food & function, 9(11), 5499-5512.

COMMISSION IMPLEMENTING REGULATION (EU) 2017/2470 of 20 December 2017 establishing the Union list of novel foods in accordance with Regulation (EU) 2015/2283 of the European Parliament and of the Council on novel foods

Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2017). Effect of hydrocolloids on microstructure, texture and quality characteristics of gluten-free pasta. Journal of Food Measurement and Characterization, 11, 1188-1195.

Coelho, L. M., Silva, P. M., Martins, J. T., Pinheiro, A. C., & Vicente, A. A. (2018). Emerging opportunities in exploring the nutritional/functional value of amaranth. Food & function, 9(11), 5499-5512.

de la Barca, A. M. C., Rojas-Martínez, M. E., Islas-Rubio, A. R., & Cabrera-Chávez, F. (2010). Gluten-free breads and cookies of raw and popped amaranth flours with attractive technological and nutritional qualities. Plant Foods for Human Nutrition, 65, 241-246.

Delgado-Andrade, C., Seiquer, I., Haro, A., Castellano, R., & Navarro, M. P. (2010). Development of the Maillard reaction in foods cooked by different techniques. Intake of Maillard-derived compounds. Food chemistry, 122(1), 145-153.

Dong, L., Qiu, C., Wei, F., Yu, Z., Zhang, Y., & Wang, S. (2022). The effect of microwave baking conditions on the quality of biscuits and the control of thermal processing hazards in the Maillard Reaction. Frontiers in nutrition, 9, 825365.

EFSA European Food Safety Authority. (2011). Results on acrylamide levels in food from monitoring years 2007–2009 and Exposure assessment. EFSA Journal, 9(4):2133. doi:10.2903/j.efsa.2011.2133.

Ertop, M. H., & Sarikaya, S. Ö. (2017). The relations between hydroxymethylfurfural content, antioxidant activity and colorimetric properties of various bakery products.

Galluzzo, F. G., Cammilleri, G., Pantano, L., Lo Cascio, G., Pulvirenti, A., Macaluso, A., ... & Ferrantelli, V. (2021). Acrylamide assessment of wheat bread incorporating chia seeds (Salvia hispanica L.) by LC-MS/MS. Food Additives & Contaminants: Part A, 38(3), 388-395.

González-Mulero, L., Mesías, M., Morales, F. J., & Delgado-Andrade, C. (2022). Assessment of the acrylamide bioaccessibility in cereal and potato-based foods after in vitro digestion. Food Research International, 161, 111820

Gökmen, V., Ataç, B., Serpen, A., Morales, F.J., 2009. Multiple Stage Extraction Strategy for the Determination of Acrylamide in Foods, Journal of Food Composition and Analysis, 22, 142-147.

Graziano, S., Agrimonti, C., Marmiroli, N., & Gullì, M. (2022). Utilisation and limitations of pseudocereals (quinoa, amaranth, and buckwheat) in food production: A review. Trends in Food Science & Technology, 125, 154-165.

Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in health value and functional food development of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). Comprehensive reviews in food science and food safety, 14(4), 431-445.

Hamzalıoğlu, A., & Gökmen, V. (2015). Investigation of the reactions of acrylamide during in vitro multistep enzymatic digestion of thermally processed foods. Food & function, 6(1), 108-113.

Hidalgo, A., Brandolini, A., Čanadanović-Brunet, J., Ćetković, G., & Šaponjac, V. T. (2018). Microencapsulates and extracts from red beetroot pomace modify antioxidant capacity, heat damage and colour of pseudocereals-enriched einkorn water biscuits. Food chemistry, 268, 40-48.

Hussain, A., & Kaul, R. (2018). Formulation and Characterization of Buckwheat-Barley Supplemented Multigrain Biscuits. Current Research in Nutrition & Food Science, 6(3).

Hussein, A. M., Abd El-Aal, H. A., Morsy, N. M., & Hassona, M. M. (2023). Chemical, rheological, and sensory properties of wheat biscuits fortified with local buckwheat.

International Agency for Research on Cancer, Acrylamide. IRCA monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some industrial chemicals, Lyon, France, 1994.

Jin, C., Wu, X., & Zhang, Y. (2013). Relationship between antioxidants and acrylamide formation: A review. Food research international, 51(2), 611-620.

Löfstedt, R. E. (2003). Science communication and the Swedish acrylamide" alarm". Journal of health communication, 8(5), 407-432.

Malik, A. M., & Singh, A. (2022). Pseudocereals proteins-A comprehensive review on its isolation, composition and quality evaluation techniques. Food Chemistry Advances, 1, 100001.

Mancebo, C. M., Picón, J., & Gómez, M. (2015). Mancebo, C. M., Picón, J., & Gómez, M. (2015). Effect of flour properties on the quality characteristics of gluten free sugar-snap cookies. LWT-Food Science and Technology, 64(1), 264-269.

Mousa, R. M. A. (2022). Inhibition of acrylamide in gluten-free quinoa biscuits by supplementation with microbial dextran. International Journal of Food Properties, 25(1), 11-23.

Procopet, O., & Oroian, M. (2022). Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. Applied Sciences

Rivero Meza, S. L., Hirsch Ramos, A., Cañizares, L., Raphaelli, C. D. O., Bueno Peres, B., Gaioso, C. A., ... & de Oliveira, M. (2023). A review on amaranth protein: composition, digestibility, health benefits and food industry utilisation. International Journal of Food Science and Technology, 58(3), 1564-1574.

Silva, A. D., Ávila, S., Küster, R. T., Dos Santos, M. P., Grassi, M. T., de Queiroz Pereira Pinto, C., Miguel, O.G. & Ferreira, S. M. R. (2021). İn vitro bioaccessibility of proteins, phenolics, flavonoids and antioxidant activity of Amaranthus viridis. Plant Foods for Human Nutrition, 76(4), 478-486.

Martinez-Alvarenga, M. S., Martinez-Rodriguez, E. Y., Garcia-Amezquita, L. E., Olivas, G. I., Zamudio-Flores, P. B., Acosta-Muniz, C. H., & Sepulveda, D. R. (2014). Effect of Maillard reaction conditions on the degree of glycation and functional properties of whey protein isolate–Maltodextrin conjugates. Food Hydrocolloids, 38, 110-118.

Mitrevski, J., Pantelić, N. Đ., Dodevska, M. S., Kojić, J. S., Vulić, J. J., Zlatanović, S., & Antić, V. V. (2023). Effect of beetroot powder incorporation on functional properties and shelf life of biscuits. Foods, 12(2), 322.

Nizamlıoğlu, N. M., & Nas, S. (2019). Gıdalarda akrilamid oluşum mekanizmaları, gıdaların akrilamid içeriği ve sağlık üzerine etkileri. Akademik Gıda, 17(2), 232-242.

Procopet, O., & Oroian, M. (2022). Amaranth Seed Polyphenol, Fatty Acid and Amino Acid Profile. Applied Sciences, 12(4), 2181.

Rifai, L., & Saleh, F. A. (2020). A review on acrylamide in food: Occurrence, toxicity, and mitigation strategies. International journal of toxicology, 39(2), 93-102.

TS2383 Bisküvi Standardı,Türk Standartları Enstitüsü, Kabul Tarihi:09.01.2017

Thakur, P., Kumar, K., & Dhaliwal, H. S. (2021). Nutritional facts, bio-active components and processing aspects of pseudocereals: A comprehensive review. Food Bioscience, 42, 101170.

Tsochatzis, E., Papageorgiou, M., & Kalogiannis, S. (2019). Validation of a HILIC UHPLC-MS/MS method for amino acid profiling in triticum species wheat flours. Foods, 8(10), 514.

TV, H. (2014). Effect of hydrocolloids on cooking quality, protein and starch digestibility of ready-to-cook gluten free extruded product. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 16(2), 119-125.

Venskutonis, P. R., & Kraujalis, P. (2013). Nutritional components of amaranth seeds and vegetables: a review on composition, properties, and uses. Comprehensive reviews in food science and food safety, 12(4), 381-412.

Wang, H., Feng, F., Guo, Y., Shuang, S., & Choi, M. M. (2013). HPLC-UV quantitative analysis of acrylamide in baked and deep-fried Chinese foods. Journal of Food Composition and Analysis, 31(1), 7-11.

ATIKTAN SAĞLIĞA: KERATİN

Prof. Dr. Sibel KARAKAYA
Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü,
sibelkarakaya@sgbilim.com - 0000-0001-5514-9521

Gülşah ÇAVUŞ
Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü,
gulsahcavus@sgbilim.com - 0000-0002-2957-5815

ÖZET

Keratin hayvanlarda saç, tırnak, boynuz, yün, tüy ve ibik gibi organ ve/veya dokularda bulunan bir hücre iskeleti proteinidir. Epitel hücrelerdeki filamentleri oluşturur, hücrenin kuvvetini ve mekanik dayanıklılığını sağlar. Keratinin tiyol bakımından zengin olması onu diğer hayvansal proteinlerden farklı kılmaktadır. Sistein bakımından zengin olan taurin ve glutatyonun önemli miktarda alınmasına katkı sağlar. Hayvansal gıdalarda tüy, yün, toynak, tırnak gibi kısımlarda bulunduğu için diyetteki proteinin çok az bir kısmını oluşturur. Ayrıca diyetle alımı mümkün olsa bile insan sindirim enzimleri tarafından hidrolize edilememektedir. Bu nedenle diyet ile keratin alımı ve dolayısıyla keratin proteinindeki amino asitlerden/peptitlerden faydalanmak mümkün değildir. Oysa birçok amino asidi içerdiği için protein desteği olarak geniş kullanım alanına sahiptir. Vücuttaki önemli fonksiyonları saç dökülmesini önleme, cildin nem tutma kapasitesini artırma, sporcularda yağsız vücut kitlesini artırmasıdır. Farmakoloji, tıp, ambalaj ve fonksiyonel gıda alanlarında farklı kullanım potansiyeli vardır. Atık kapsamında değerlendirildiğinde ise sadece 2022 yılında yaklaşık 274 milyon ton etin küresel üretiminin 11 milyon tondan fazla keratin açısından zengin atık ürettiği görülmektedir. Bu atık ekolojik bir risk oluşturmaktadır. Bunun en önemli nedeni keratinin içerdiği disülfit bağları ve hidrojen köprülerinin hidrolize direncidir. Doğru yönetilemediğinde bu atıklar toksik gazlar ve zararlı partiküller nedeniyle ekosistemleri ve insan sağlığını tehlikeye atabilecek risk oluşturur.

Bu çalışmada keratin degradasyonu için kullanılan yöntemler, yöntemlerin avantaj ve dezavantajları ile keratinden sağlık yararı sağlayan fonksiyonel ürünler üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Alkali degradasyonu, asit degradasyonu, kimyasal indirgeme, kimyasal oksidasyon, hidrotermal yöntemler

FROM WASTE TO HEALTH: KERATIN

Prof. Dr. Sibel KARAKAYA
Ege University, Food Engineering Department, İzmir-Türkiye
sibelkarakaya@sgbilim.com - 0000-0001-5514-9521

Gülşah ÇAVUŞ
Ege University, Food Engineering Department, İzmir-Türkiye
gulsahcavus@sgbilim.com - 0000-0002-2957-5815

ABSTRACT

Keratin is a cytoskeletal protein found in organs and/or tissues such as hair, nails, horns, wool, feathers, and combs in animals. It forms filaments in epithelial cells, providing structural strength and mechanical resilience to the cell. The richness of keratin in thiol groups distinguishes it from other animal proteins. It contributes significantly to the intake of cysteine-rich compounds such as taurine and glutathione. Since it is found in parts of animal-based foods like feathers, wool, hooves, and nails, it constitutes only a very small portion of dietary protein. Moreover, even if consumed through diet, it cannot be hydrolyzed by human digestive enzymes. Therefore, dietary keratin intake and the benefit from its amino acids/peptides are not possible. However, because it contains many amino acids, it has a wide range of applications as a protein supplement. Important physiological functions of keratin include preventing hair loss, enhancing the skin's moisture retention capacity, and increasing lean body mass in athletes. It has various potential uses in pharmacology, medicine, packaging, and the functional food industry. From a waste perspective, it is noteworthy that in 2022 alone, the global production of approximately 274 million tons of meat generated over 11 million tons of keratin-rich waste. This waste poses an ecological risk, primarily due to the hydrolysis resistance of keratin’s disulfide bonds and hydrogen bridges. If not properly managed, such waste can pose a threat to ecosystems and human health due to the release of toxic gases and harmful particles.

This study focuses on the methods used for keratin degradation, their advantages and disadvantages, and the functional products derived from keratin that offer health benefits.

Keywords: Alkali degradation, acid degradation, chemical reduction, chemical oxidation, hydrothermal methods.

1. GİRİŞ

Bir hücre iskeleti proteini olan ve hayvanlarda saç, tırnak, boynuz, yün, tüy ve ibik gibi organ ve/veya dokularda bulunan keratin; epitel hücrelerdeki filamentleri oluşturur, hücrenin kuvvetini ve mekanik

dayanıklılığını sağlar. Keratinin tiyol bakımından zengin olması onu diğer hayvansal proteinlerden farklı kılmaktadır. Bununla birlikte moleküldeki hidrojen bağları ve disülfit bağları keratinin çözünürlüğünü ve sindirilirliğini düşürmektedir. Bu moleküler özellikler keratinin, tipleri (α, β ve γ) arasında çok sayıda çapraz bağ bulunan sağlam yapılar oluşturmasını sağlayarak mekanik, kimyasal ve fiziksel streslere karşı direnç sağlar. Alfa ve β keratinler özellikle dikkat çekicidir. Alfa keratinin ikincil yapısı çoğunlukla α-heliks ve β-keratinin ikincil yapısı çoğunlukla β-tabakadan oluşur. Bu yapılar, daha sonra tetramerler, protofibriller ve sonuçta, keratin makrofibrillerinin temelini oluşturmak için amorf bir matrisin içine gömülmüş ara filamentler oluşturmak üzere birbirine dolanır. Alfa ve β keratin arasındaki temel fark ikincil yapılarından kaynaklanır. Keratin yapısal olarak α-keratin, β-keratin ve γ-keratin olmak üzere üçe ayrılır. Keratinin, saçın ana yapısal proteini olarak, saç foliküllerinin sağlıklı gelişimini desteklediği, özellikle saf rekombinant keratinlerin saç foliküllerine etki ettiği ve saç dökülmesini önleyip, saç kalitesini artırdığı gösterilmiştir. Keratinin, cilt ve saç derisi üzerinde iyileştirici ve onarıcı etkiler gösterdiği, yara iyileşmesi, inflamasyon ve hücre rejenerasyonu gibi cilt bakımında önemli mekanizmaları tetikleyen özellikleri bulunduğu belirtilmiştir (Sung, 2023; Corona-Rodarte et al., 2024; Zhang et al., 2024).

Bu makalede keratin, keratince zengin atıklara ait uygulamalar ve keratince zengin atıklardan keratin ekstraksiyon yöntemlerine ait çalışmalar derlenerek "atıktan sağlığa" bakış açısıyla keratin değerlendirilmiştir.

2. KERATİN VE KERATİN PEPTİTLER

Keratin canlıda bulunduğu organlar nedeniyle insanların diyetinde yer almayan bir proteindir. Bununla birlikte insanlarda saç ve tırnaklarda bulunur. Alfa keratin alanin, lösin, arginin ve sisteince zengin olup ikincil yapıda α-heliks yapının hâkim olduğu, molekül ağırlığı 60-80 kDa arasında değişen ve memelilerde saç, tırnak, toynak, boynuz ve epidermal tabakada bulunur. Alfa keratin tip I ve tip II olmak üzere iki farklı yapıya sahiptir. Tip I yüksek konsantrasyonda asidik amino asitleri içerir, tip II ise bazik ve nötr amino asitleri içerir. Bunun yanısıra α-keratin kükürt ve özellikle sistein içeriğine göre sert ve yumuşak olmak üzere gruplandırılır. Sert keratinlerin sistein içeriği yüksektir ve dolayısıyla fazla sayıda disülfit bağları içerir. Buna karşın yumuşak özellikte olan α-keratin daha az sayıda disülfit bağı içerir. Hayvanların yünleri α-keratince zengindir. Alfa keratinin aksine β-keratin düşük sistein içeriği ile karakterize bir proteindir, ancak β-tabaka yapısındaki hidrojen bağları nedeniyle nispeten stabil bir yapı oluşturur (Wang et al., 2016). Beta keratinin molekül ağırlığı α-keratine göre daha düşük olup 10-22 kDa aralığındadır. Tavuk tüyleri yüksek oranda β-keratin içerir. Gamma keratin özellikle epidermis, korteks ve lif matrislerinde olmak üzere memelilerde baskın olarak bulunur ve bu dokuların bütünlüğünün korunmasında önemli bir rol oynar. Diğer keratinlerden farklı olarak, γ-keratin küresel bir yapıya sahiptir ve mikrofibrilleri birbirine bağlayan matrisi oluşturur. Yüksek kükürt içeriği, 7 ila 35 kDa arasında değişen moleküler ağırlığıyla, çapraz bağlanmayı kolaylaştırır ve proteinin stabilitesine katkıda bulunur. Amorf keratin olarak bilinen bu varyant, sistein açısından zengindir ve her iki polipeptit zincir konfigürasyonunda da görünür ve bu da farklı doku bağlamlarına uyum sağlamasına olanak tanır (Wang et al., 2016; Banasaz and Ferraro, 2024). Gama keratinde başlıca sistein, glisin, alanin ve serin gibi amino asitleri yer alır ve γ-keratin bulunduğu dokulara mekanik güç ile koruma sağlayan lifli yapıya sahiptir. Belirli yapısal özellikleri doku türüne bağlı olarak değişebilir ve memelilerin biyolojik mimarisindeki çok yönlülüğü sağlar (Wang et al., 2023). Keratinlerin küresel γ-keratinden sağlam α ve β formlarına kadar uzanan çeşitli yapısal özellikleri, çeşitli dokuların yapısal

bütünlüğünü ve işlevselliğini korumadaki benzersiz rollerini vurgular. Keratinin bu yapısı aynı zamanda biyoteknoloji ve endüstriyel süreçlerde yenilikçi uygulamalar için ilgi çekici fırsatlar sunar.

Keratin doğal formunda insanlardaki sindirim enzimleri tarafından hidrolize edilemez. Keratinden faydalanmak için keratinin hidrolize formuna dönüştürülmesi gerekir. Keratinin bulunduğu kaynaktan ekstraksiyonu sırasında sistin amino asidi sisteine dönüşür, aynı zamanda peptitler ve serbest amino asitler de açığa çıkar (Giterin et al., 2023). Keratin birçok amino asidi içerdiği için protein desteği olarak geniş kullanım alanına sahiptir. Vücuttaki önemli fonksiyonları saç dökülmesini önleme, cildin nem tutma kapasitesini artırma, sporcularda yağsız vücut kitlesini artırmasıdır. Farmakoloji, tıp, ambalaj ve fonksiyonel gıda alanlarında farklı kullanım potansiyeli vardır. Keratin peptitlerin özellikle erkek tipi saç dökülmesi ve cilt sağlığı üzerine yararlı etkilerini gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Corona-Rodarte, 2024; Tursi et al., 2025). Bunun yanısıra keratin doku mühendisliği ve rejeneratif tıpta yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Bunlar arasında yara iyileşmesi, kemik rejenerasyonu, hemostaz ve periferal sinir onarımına yönelik çalışmalar sayılabilir (Konop et al., 2021).

3. KERATİNCE ZENGİN ATIKLARDAN KERATİN EKSTRAKSİYONU

Dünya nüfusu her geçen gün artmakta ve bu artışa paralel olarak artan hayvansal gıda üretimi nedeniyle hayvansal atık miktarı da artmaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü verilerine göre, yıllık küresel kümes hayvanı üretiminin 2030 yılında 24.8 ve 2050 yılında 37 milyara ulaşması (1,7 kg karkas ağırlığı/hayvan) beklenmektedir. Ayrıca, sığır ve domuz eti üretiminin de artmaya devam edeceği öngörülmektedir (Qiu et al., 2020). Türkiye'de 2025 yılı ocak ayına ait TÜİK verilerine göre tavuk eti üretimi 233 bin 223 tondur. Bu üretim için 123 bin 747 ton tavuk kesilmiştir. 2024 yılı ile karşılaştırıldığında 2024 ocak ayında 110 bin 657 adet tavuk kesilmiş olup, bu %11.8'lik bir artışa denk gelmiştir (TÜİK, 2025). Türkiye'de her yıl yaklaşık 30 bin ton atık tavuk tüyü (Paşayev et al., 2019), dünya genelinde ise 3600 milyon ton atık tavuk tüyü ortaya çıkmaktadır. Atık tavuk tüyünde %91 keratin, %1,3 yağ ve %7,7 su bulunmakta ve bu atıkların imhasında yakma ve gömme gibi çevre için zararlı işlemler kullanılmaktadır (Isarankura et al.,2015).

Benzer olarak hayvanlardan atık olarak açığa çıkan yünde bulunan %95-%98 oranındaki proteinin yaklaşık %80-%85'ini keratin oluşturmaktadır. Türkiye'de 2024 yılındaki hayvan sayıları; TUİK verilerine göre 16986259 büyükbaş hayvan ve 54902668 küçükbaş hayvandır. Kırmızı et üretimi ise 2 milyon 105 bin 895 tondur (TUİK, 2025). Ancak Türkiye'de küçükbaş hayvan kesiminden ne kadar yünün atık olarak açığa çıktığına dair bir veri bulunmamaktadır. Meksika'da artan et tüketimi nedeniyle 2022 yılında 484200 ton tavuk tüyü, 19539 ton domuz toynağı ve kılı, 10503 ton tırnak ve boynuz atık olarak açığa çıkmıştır. Küresel et üretiminin 2030 yılında 470 milyon ton olacağı öngörülmekte ve atık yönetim stratejilerinin küresel boyutta planlanması gerekliliği vurgulanmaktadır (Enciso-Tenorio et al., 2025).

Bu nedenle son yıllarda keratince zengin atıkların katma değerli ürünlere dönüştürülmesi gündeme gelmiş ve bu kapsamda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Keratince zengin atıkların kullanıldığı çeşitli uygulamalar (Chilakamarry et al., 2021).

Keratin kaynakları	**Uygulamalar**

Tavuk tüyü	Biyoplastik film, biyogübre, biyokompozit kozmetikler, otomobil ve uçak kısımları, hidrojeller, gıda ambalajı için termoplastik filmler, diyet destekleri, kâğıt üretimi,
İnsan saçı	Biyomateryaller, tıp ve doku mühendisliği için film
Yün	Boncuklanmayı önleme işlemi, biyopolimer, hidrojel, nanolif, sünger, gözenekli köpükler
Kuzu yünü	Dış duvarların ısı yalıtımı, karbon fiber öncülü, rejeneratif tıp, biyolastikler, kaplama, ambalaj.
Sığır toynağı	Hücresel bağlanmayı teşvik eden uyumlu bir malzeme olarak biyomedikal ve doku mühendisliği uygulamaları
Sığır toynağı ve boynuzu	Havacılık uygulamaları, mühendislik kompozitleri.

Çizelge 1'de görüldüğü gibi keratince zengin atıkların gıdaya yönelik uygulamalarına ait çalışmalar azdır. Bu durum keratince zengin atıklardan gıda endüstrisine yönelik katma değerli ürün üretimine temel olacak araştırmalara gereksinim olduğunu göstermektedir.

Keratin ekstraksiyonunda sıklıkla fizikokimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin uygulama koşulları ile avantaj ve dezavantajları Çizelge 2'de verilmiştir. Bu yöntemlerin en büyük avantajı yüksek verim ile ürün eldesi olmakla birlikte, çevre kirliliğine neden olan bir atığı dönüştürürken yine çevre kirliliğine neden olan başka atıkların ortaya çıkması önemli bir sorundur. Bu nedenle atıklardan keratin eldesinde fizikokimyasal yöntemlere alternatif olabilecek sürdürülebilir yöntem arayışları devam etmektedir. Biyolojik alternatifler olarak keratinolitik mikroorganizmaların ve proteazların kullanımı gündemdedir.

Çizelge 2. Keratin ekstraksiyonunda kullanılan fizikokimyasal yöntemler, uygulama koşulları, avantaj ve dezavantajları.*

Yöntemler	**Uygulama koşulları**	**Avantajları**	**Dezavantajları**
Çözünürleştirme	Organik çözücüler (DMF ve DMSO)	Toz ürün, yüksek etkinlik, kendiliğinden montajla üretilen biyomateryaller.	Yüksek miktarda organik çözgen kullanımı, stabiliteyi düşürecek higroskopik ve

			suda çözünen bileşiklerin oluşumu.
	İyonik sıvılar	İyonik sıvıların kullanılması, keratin ekstraksiyonu, çözücülerin geri dönüşümlü kullanımı.	Yüksek miktarda çözücü kullanımı, stabiliteyi düşürecek higroskopik ve suda çözünen bileşiklerin oluşumu.
Hidrotermal uygulama	Basınç (10-15 psi)	Hidrojen bağlarında etkin kırılma, suda çözünen keratinlerin eldesi.	Amino asitlerin degradasyonu (glisin ve asparajin), yüksek miktarda enerji ve su tüketimi.
Kimyasal oksidasyon	Perasetik asit veya peroksikarb oksalik asit	Higroskopik ve suda çözünebilen keratosis oluşumu	Keratine kıyasla keratosisin düşük stabilitesi Oksidatif koşullar altında disülfit bağlarının yeniden oluşma olasılığının olmaması
Kimyasal indirgeme	Tiyoglikolat, DTT, sodyum sülfit ve bisülfit, üre	Hidrojen bağlarında etkin kırılma, tiyoller ve sülfonatlar ile suda çözünmeyen keratinlerin oluşumu, çöktürme gerekmemesi, oksidasyon ajanı eklendiğinde çapraz bağların oluşma olasılığı, kendiliğinden montajla üretilen biyomateryaller.	Önemli miktarda kimyasal kullanımı, bazı amino asitlerin degradasyonu (asparajin, glisin, serin, treonin, sistein), lizinoalanin oluşumu.
Alkali degradasyonu	Kuvvetli alkali, 70-80 °C.	Oldukça etkin degradasyon.	Asparajin, glisin, serin, treonin ve sistein degradasyonu, lizinoalanin ve 8-aminoalanin oluşumu, konsantre baz kullanımı.
Asit degradasyonu	Yüksek sıcaklık ve kuvvetli asitler (H_2SO_4 / HCl	Hidrojen bağlarının kırılması ile amorf keratin içeriğinin artması.	Serin, treonin, sistein ve tirozinin degradasyonu, asparajin, glisin, metiyonin ve triptofanın dönüşümü, konsantre baz kullanımı, istenmeyen yan ürünler.

*Enciso-Tenorio et al. (2025)'ten uyarlanmıştır.

4. SONUÇ

Yakın gelecekte günümüzde keratin içeren kaynaklardan keratin elde etmede kullanılan fizikokimyasal yöntemlerin yerini sürdürülebilir ve çevreye zarar vermeyen biyolojik yöntemlerin alması beklenmektedir. Keratinazların biyodönüşüm süreçlerindeki umut verici potansiyeline rağmen karşılaşılan temel zorluklardan biri, genellikle aşırı pH ve sıcaklık

değişimleri içeren endüstriyel koşullar altında keratinazların özgüllüğünü ve aktivitesini artırmaktır. Ek olarak, büyük ölçekli mikrobiyal yöntemle keratin eldesinin ekonomik uygulanabilirliği, özellikle maliyet etkin üretim ve ortaya çıkan yan ürünlerin aşağı akışta işlenmesi açısından daha fazla araştırmayı gerektirmektedir. Gelecekteki araştırmalar, keratinaz üreten mikroorganizmaların verimini ve verimliliğini artırmak için genetik mühendisliği ve fermantasyon teknolojilerine odaklanmalıdır. Bir diğer umut verici alan, önemli terapötik ve besleyici faydalar sağlayabilecek keratin kaynaklı biyoaktif peptitlerin geliştirilmesidir.

KAYNAKÇA

Banasaz, S. and Ferraro, V. Keratin fro animal by products: structure characterization extraction and application – a review, Polymers, 16, 1999, 2021.

Chilakamarry, C. R., Mahmood, S., Saffe, S. N. B. M., Bin Arifin, M. A., Gupta, A., Sikkandar, M. Y., Begum, S. S., Narasaiah, B. Extraction and application of keratin from natural resources: a review, 3 Biotech, 11, 220. DOI: 10.1007/s13205-021-02734-7

Corona-Rodarte, E., Cano-Aguilar, L. E., Baldassarri-Ortego, L. F., Tosti, A., Asz-Sigall, D. Dermatological perspectives on pressure alopecias: A call for awareness, Journal of the American Academy of Dermatology, April, 90, 4, 2024.

Enciso-Tenorio, V. E., Vargas-Leon, E. A., Castillo-Minjarez, J. M. A., Quezada-Cruz, M., Espinosa-Ramirez, B. H. A., Martinez-Valdez, F. J. Transforming waste into wealth: innovative bioconversion of keratin-rich by-products for sustainable industrial applications, Systems microbiology and Bioanufacturing, 5, 500-511, 2025.

Giterin, S. G., Ramsey, D. H., Hou, Y., Cong, L., Mohan, A., Bekhit, A. E-D. A. Wool keratin as a novel alternative protein: A comprehensive review of extraction purification nutrition safety and food applications, Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 22, 643-687, 2023.

Isarankura, S., Ayutthaya, N., Tanpichai, S., Wootthikanokkhan, J. Keratin extracted from chicken feather waste: extraction, preparation, and structural characterization of the keratin and keratin/biopolymer films and electrospuns, Journal of Polymers and the Environment. 23, 506-516, 2015. https://doi.org/10.1007/s10924-015-0725-8

Konop, M., Rybka, M., Drapala, A. Keratin biomaterials in skin wound healing an old player in modern medicine: A mini review, Pharmaceutics, 13, 2029, 2021.

Paşayev, N., Kocatepe, S., Maraş, N. Investigation of sound absorption properties of nonwoven webs produced from chicken feather fibers, Journal of Industrial Textiles, *48*, 1616–1635, 2019. https://doi.org/10.1177/1528083718766843

Qui, N. H., Guntoro, B., & Syahlani, S. P. (2020). The social profile, constraints, and its impact on Swine herd size in Tra Vinh Province, Vietnam. *Tropical Animal Science Journal*, *43*(4), 385-390.

Sung, J-H. Effective and economical cell therapy for hair regeneration, Biomedical Pharmacotheraphy, November, 9, DOI: 10.1016/j.biopha.2022.113988

TÜİK Erişim tarihi 10 Haziran 2025, https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Hayvansal-%C3%9Cretim-%C4%B0statistikleri-2024-53935&dil=1

Tursi, F., Nobile, V., Cestone, E., De Ponti, I., Lepoudere, A., Sergheraert, R., Soulard, J-P. The effects of an oral supplementation of a natural keratin hydrolysate on skin aging: A randomized double blind placebo-controlled ckinical study in healthy women. Journal of Cosmetic Dermatology, https://doi.org/10.1111/jocd.16626, 2025.

Wang B, Yang W, McKittrick J, Meyers M. A. Keratin: structure, mechanical propertie occurrence in biological organisms, and efforts at bioinspiration. Progressive Material Science, 76, 229–318, 2016.

Wang, L., Shang, Y., Zhang, J., Yuan, J., Shen, J. Recent advances in keratin for biomedical applications. Advanced Colloidal Interface Science, 321, 103012, 2023.

Zhang, H., Qing, R., Li, W., Yuan, Y., Pan, Y., Tang , N., Huang, Q., Wang, B., Hao, S. Rational design of human hair keratin-driven proteins for hair growth promotion, Advanced Healthcare Materials, 13, 2401378, 2024.

CHANGING LANDSCAPES TO THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE IN URBAN AREAS

Feran AŞUR[1], Nursevil YUCA[2]
[1′ 2] Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape Architecture,
feranerkasur@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9480-5536
nursevilyuca@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7985-7706

Abstract

Climate change causes sudden and unexpected weather events on earth. Cities are the areas where the effects of climate change are felt most intensely. These effects occur in cities as the increase in the heat island effect, air pollution, heat waves and water scarcity, changes in precipitation regime, an increase in the number of dry days, and rainwater causing floods or inundations. The effects of climate change will affect all kinds of land use, ecosystem services and human behavior. It is necessary to accept that the world's climate is already changing and will continue to change for decades. Considering the emerging effects on land use and biota, the option of adapting landscapes to reduce the undesirable effects of climate change is now on the political and research agendas. Therefore, the adaptation of landscape systems to climate change is an emerging topic in science.

This study focuses on the important role of regulatory ecosystem services provided by positive design against the threat of climate change and increasing the resilience of cities. Climate regulation, improvement of air and soil quality, reduction of the effects of problems such as floods and landslides, protection of pollination and biodiversity were mentioned with landscape management and sustainable landscape design. It was revealed that it is possible to adapt various landscape works to eliminate or mitigate the negative effects of climate in urban areas.

Keywords: Landscape management, Climate change, Sustainable design, Urban green space.

Introduction

According to the IPCC, 2022, the Earth's climate is changing at an unprecedented pace and this change is expected to increase in the near future. Climate change projections show major changes in temperature, precipitation, and the frequency and timing of extreme weather events at varying rates and patterns around the world (Opdam et al., 2009). The impacts of climate change threaten natural ecosystems as well as urban centers, where 68% of the world's population is expected to live by 2050 (Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UN) [DESA], 2018). The evidence on the impacts of climate change on society and the environment is generally accepted by scientists (IPCC, 2001), and the importance of mitigating and adapting to climate change has been emphasized (Adger, 2005; Fawcett et al., 2017). Ecological restoration, the process of helping a degraded, damaged or destroyed ecosystem recover, is an approach that provides particular benefits for addressing changes at the habitat level associated with a changing climate (Von Holle et al., 2020). Urban landscape studies are being carried out as a common adaptation strategy to mitigate the negative effects

of climate change in many cities around the world. Due to the sudden and unexpected weather events experienced worldwide, the frequency and magnitude of damage of heavy rain, heat waves, strong winds and local floods are increasing and have devastating effects on landscapes (Coşkun Hepcan, 2022; Sönmez Erdoğan, 2024). Cities are the areas where the negative effects of climate change are felt most intensely. These effects occur in the form of increasing heat island effect in cities, air pollution, heat waves and water scarcity, changing precipitation regime, increasing the number of dry days, and rainwater causing floods or inundations. The high density of built-up areas in cities makes cities vulnerable to the effects of climate change. Reducing the negative effects of sudden and unexpected weather events caused by global climate change and making cities resilient to these effects is possible by preserving and/or increasing the benefits provided by ecosystems through landscape arrangements (Coşkun Hepcan, 2019).

Landscape Architecture Approaches to Combating Climate Change in Cities

The adverse effects of climate change pose a tremendous challenge to efforts to preserve green spaces in cities. Green spaces are losing their functionality as rising temperatures, changing precipitation patterns, and extreme weather events affect the health of vegetation. This is an urgent challenge to maintain the resilience of urban green spaces to climate change. Green space planning needs to integrate climate-resilient design principles (Fryd et al., 2012). This means planting appropriate native and adaptable ornamental species, emphasizing sustainable water resource management, and using green spaces as climate change buffers. Collaboration between landscape architects, urban planners, environmental scientists, and climate experts to develop effective strategies is key (Lehmann, 2023).

- Sustainable design principles for green spaces

Several studies have shown that the adverse effects of climate change (temperature increases, droughts, etc.) make it difficult to maintain the sustainability of plant species in urban areas. Even if practitioners take a proactive approach to planting ornamental plants suitable for future climates, this may not be possible due to the limited plant demand in the current market. Many species currently planted in urban areas may survive for decades in the future, potentially exposed to a significantly different climate. Therefore, it is imperative to predict with high confidence which species will survive in the future (Sandal Erzurumlu, 2025). Burley and colleagues predict that suitable urban habitat could decline for 73% of native tree species planted in urban areas in Australia by 2070 (Burley et al., 2019). Globally, more than 13,000 species will be at risk from projected temperature changes by 2050 (Esperon-Rodriguez et al., 2021). Current urban planning and management decisions need to take into account future climates to ensure that urban green spaces remain functional and healthy, providing the desired benefits for many years to come (Sandal Erzurumlu, 2025). For this reason, it is extremely important to select and plant ornamental plants that are resistant to climate change threats in urban green areas in the landscape planting design of the relevant areas. Sustainable green areas included in landscape design protect biodiversity through the use of local plant species. Naturally, local plants adapt to the local climate and require less irrigation and maintenance. They also help the local ecology by providing habitat and food for local life. Designing green

areas that prioritize biodiversity strengthens ecological resilience and is beneficial for the foundation of urban ecosystems. Examples from cities such as Melbourne, which is famous for the use of local plants in urban green areas, show how adopting biodiversity conservation as a design principle can be beneficial (Breuste, 2023).

-Integration of green infrastructure into urban planning

The demands for construction and infrastructure aimed at the creation of new residential and commercial areas due to urbanization create serious pressure on natural ecosystems and urban green areas. Urban green areas can be defined in various ways as partially or completely green areas, urban areas covered with any type of vegetation (Teixeira et al., 2022). Sustainable and resilient cities are only possible with urban planning that includes green infrastructure (Aung et al., 2023).

Green infrastructure is defined as a green area network formed by interconnected natural, semi-natural and cultural areas that preserve ecosystem values and functions (Benedict, 2000; Junk et al., 2011; European Commission, 2013). This network of tracks and corridors; It includes natural areas such as forests, shrubs, meadows, wetlands, river corridors and gardens and parks in urban areas (Basu et al., 2022), sports fields, school yards, campuses, individual and institutional gardens, green roofs and vertical and vertical garden systems (Fors et al., 2018; Suster, 2021), zoos, botanical gardens, cemeteries, planted roads, etc. semi-natural and cultural components (Wilczyńska et al., 2021). These landscapes, which are blue-green zones, reduce the risk of flooding in urban areas, cool cities in summer and have many positive effects that promote biodiversity (Liu and Russo, 2021; Zhang and Qian, 2024). Thus, cities that are resilient to climate change can be formed. In a climate change-resistant city; Among the aims are the creation of centers within a walkable distance, the development of a railway network connecting the entire city, and the most efficient organization of green buildings and infrastructure (Cirit, 2014). In addition, functions that facilitate the ecological management of the city, such as renewable energy production, water, and waste recycling; green infrastructure, the establishment of eco-villages between developed transportation centers and corridors; a cleaning control system and local government are supported within the scope of a resilient city (Çiğdem & Akyol 2016).

Urban Landscape Applications and Positive Effects

In urban landscapes, green areas have many functions such as

- Air cooling,
- Reducing the heat island effect,
- Capturing and storing carbon,
- Cleaning the air by removing pollutants,
- Enriching the soil with organic materials,
- Providing food and shelter for wildlife,
- Supporting biodiversity,
- Preventing rainwater from passing into surface runoff,
- Feeding underground and surface water resources,

- Reducing wind and rain erosion, filtering noise,
- Reducing energy consumption,
- Providing recreational opportunities,

Increasing the real estate value of lands with their vegetation (Forman, 2014; Coşkun Hepcan 2019; Coşkun Hepcan 2022).

Controlling urban temperatures, improving air and soil quality, climate regulation, reducing the effects of problems such as floods and landslides, water purification, waste management, pollination - protecting biodiversity, biodegradation or control of harmful species can be listed among the regulatory services (MEA, 2005).

1- Keeping urban temperatures under control

Structural surfaces such as concrete, asphalt, and metal are heated by solar energy throughout the day and heat the immediate surroundings. Surface temperatures are high in areas where vegetation is weak and where roads, buildings, roofs, and parking lots are densely located. Due to the high density of buildings, urban areas are several degrees warmer than their surrounding rural and underdeveloped areas. This microclimatic condition is defined as a heat island (Roth, 2013). The right plant selection in the design of green areas is an important factor in controlling urban temperatures. Trees cool urban surfaces by transpiration and creating shade. In addition, the tallness of the vegetation and the high crown density increase the shading and transpiration functions (Coşkun Hepcan 2019). However, the more recyclable the hard floor materials of the current design are and the more cement substitutes are used in concrete, the less carbon footprint will be. Water-permeable hard surface materials can be selected (Eşbah Tunçay, 2021). In the selection of urban equipment elements, surface materials and floor coverings, it is important to pay attention to color and texture parameters. The use of water elements in suitable areas is again effective in controlling urban temperatures. It is important to collect water from the roof, air conditioning with afforestation close to buildings, axis circulation and permeable concrete application, and to identify impermeable surfaces and find permeable solutions (Özkaplan Yörüklü, 2025).

2-Improving Air Quality

In order to eliminate the low air quality caused by climate change, plants have the potential to improve the air quality of the city by removing pollutants from the atmosphere (Nowak & Dwyer, 2000). The air quality improvement function of trees is directly proportional to the size of the crown cover. Green areas with large-leaved trees with wide crown structures have a high air purification function. In plant selection, it is important to choose ornamental plants that are suitable for the ecology of the region and resistant to the threat of climate change and have healing properties (Tamim & Tariq, 2015).

3- Improving Soil Quality

The physical and chemical structure of the soil in cities differs from the soil in natural areas. Construction activities and underground and aboveground transportation systems cause the soil layers to be compressed and prevent the aeration of the soil. In addition, indirectly due to climate change, the leakage of chemical materials such as lead and fuel oil originating from

transportation, industrial and domestic wastes into the soil, salting during the winter months, chemical pesticide and fertilizer applications used in green areas to increase the resistance of plants pollute the soil, harm soil organisms and microorganisms, and impoverish the soil.

In soils with vegetation, plant roots provide aeration of the soil and the infiltration of water into the soil. The mixing and decomposition of organic materials such as branches, leaves, fruits and flowers into the soil nourishes soil organisms, enriches the soil in terms of nutrients and increases microorganism activities.

4- Flood and Overflow Prevention

Due to extreme climate events, large amounts of rainfall come to cities in a short time and the amount of water passing into the surface flow increases. In cases where the amount of water passing into the surface flow exceeds the capacity of the water collection systems, it can cause floods and inundations (Coşkun Hepcan 2019). In cities where rainwater collection systems are located, this water is evaluated in two ways. In some cities, it is transmitted to water bodies such as the sea and streams. In this case, the aim is to remove the water from the city as quickly as possible and reduce the load on the treatment plant. In cities where treatment is targeted, the collected rainwater is transmitted to biological channels or wetlands where biological treatment processes will take place (Strom et al., 2013; Ugolini et al., 2022).

5- Biodiversity

Practical solutions to reduce biodiversity loss due to climate change include protecting and managing natural areas, guiding species management, monitoring current changes, and planning for future changes, as well as developing policies (Mawdsley et al., 2009). Green spaces located in various parts of the city promote biodiversity (Biernacka and Kronenberg, 2018; Chau et al., 2023). Practical solutions to reduce biodiversity loss due to climate change include protecting and managing natural areas, guiding species management, monitoring current changes, and planning for future changes, as well as developing policies (Mawdsley et al., 2009). Areas with greater biodiversity are more resilient to climate change impacts (Isbell et al., 2015). Because a greater number of species living in an area increases the probability of species having the relevant characteristics to maintain ecosystem services even with local extinctions (Oliver et al., 2015) and adapting to changing climate conditions (Sgrò et al., 2015).

6- Pollination

Green areas with high ecological quality contain pollinating/pollinating bird, rodent, winged and insect species that are not found in many parts of the city. These species enrich the biological diversity of green areas and the city. Areas with tall and old trees with wide crown cover, diverse in terms of leaf, flower and fruit color, and different forms of trees, shrubs, bushes and climbing plants that bloom, leaf out and bear fruit at different times of the year have high ecological value (Coşkun Hepcan et al., 2015).

Conclusion

Climate change-related risks are expected to affect cities more and more today and in the future. The areas most exposed to the impacts and dangers resulting from climate change are; They are

urban areas that host millions of people and where economic, social and cultural activities are concentrated. All cities in the world are faced with the threat of climate change because they are very vulnerable and weak areas against climate change. In cities that are victims of climate change; urban heat islands increase the effects of heat waves and threaten the health of the urban population, cities are exposed to devastating consequences due to the effects of extreme weather events, and disasters such as floods and inundations caused by irregular rainfall lead to a decrease in water availability (Baysal, 2019; Genç, 2007). In order to effectively design landscapes that are resilient to the negative effects of climate change, landscape ecology needs to develop its expertise and tools as a scientific base for collaborative design. One of the most important challenges for future research will be to integrate research at different scales, including spatial-temporal scales, within an interdisciplinary and multidisciplinary framework. Succeeding in this way will enable science to move from analytical to actionable climate knowledge (Opdam et al., 2009). When planning adopts a holistic approach that considers biodiversity, water efficiency, accessibility and adaptability, green spaces fit seamlessly into the urban fabric.

As a result, landscape studies against climate change are organized around process-pattern relationships across a range of spatial scales. This is a core competence of landscape ecology. However, for this competence to be relevant for landscape adaptation, studies of climate change impacts need landscape ecologists to engage with the role of landscape pattern. It is possible to adapt a variety of landscape studies against climate-related adverse impacts in urban areas.

References

Adger, W. N., Arnell, N. W., & Tompkins, E. L. (2005). Successful adaptation to climate change across scales. Global environmental change, 15(2), 77-86.

Aung, T., Liana, S. R., Htet, A., & Bhaumik, A. (2023). Integrating green infrastructure into urban high-rise buildings: Design strategies and benefits. *Seybold Rep*, *18*, 1571-1579.

Basu, A., Basu, L. B., Barbosa, V., & Dadashpoor, H. (2022). 'Green Placemaking'in Kolkata: Role of Urban Greens and Urban Forestry. In *Conservation, Management and Monitoring of Forest Resources in India* (pp. 131-162). Cham: Springer International Publishing.

Baysal, E. (2019). İklim İçin Kentler, Yerel Yönetimlerde İklim Eylem Planı, İstanbul.

Biernacka, M., & Kronenberg, J. (2018). Classification of institutional barriers affecting the availability, accessibility and attractiveness of urban green spaces. *Urban forestry & urban greening*, *36*, 22-33.

Breuste, J. (2023). The green city: general concept. In *Making Green Cities: concepts, challenges and practice* (pp. 3-18). Cham: Springer International Publishing.

Burley, H., Beaumont, L.J., Ossola, A., Baumgartner, J.B., Gallagher, R., Laffan, S., Esperon-Rodriquez, M., Manea, A., Leishman, M.R. (2019). Substantial declines in urban tree habitat predicted under climate change. Science of the Total Environment 685:451-462. https://doi. org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.287.

Chau, T. P., Samdani, M. S., Kuriakose, L. L., & Sindhu, R. (2024). Assessment of multi-biomedical efficiency of Andrographis paniculata shoot extracts through in-vitro analysis and major compound identification. *Environmental Research*, *242*, 117779.

Cirit, F., (2014), Sürdürülebilir kentiçi ulaşım politikaları ve toplu taşıma sistemlerinin karşılaştırılması, Uzmanlık Tezi, T.C. Kalkınma Bakanlığı İktisadi Sektörler Ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü, Ankara.

Coşkun Hepcan Ç. (2022) Doğa temelli çözümler ve kentsel dirençlilik. Çevre, Şehir ve İklim Dergisi. Yıl: 1. Sayı: 2. ss. 19-40

Çiğdem, A. ve Akyol, D. (2016). Ekolojik Sürdürülebilir Kentsel Yönetim Bağlamında Türkiye'de Yerel Yönetimlerin Yasal Olanakları Ve 2014 Sonrasındaki Değişimi. TURAN–SAM Uluslararası Bilimsel Hakemli Dergisi, 8(32), 244–250.

Department of Economic and Social Affairs, Population Division (UN) [DESA]. 2018 May. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. New York (USA): United Nations. ST/ ESA/SER.A/420. https://population.un.org/wup/ publications/files/wup2018-report.pdf

Esperon-Rodriguez, M., Baumgartner, J.B., Beaumont, L., Lenoir, J., Nipperess, D., Power, S.A., Richard, B., Rymer, P., Tjoelker, M., Gallagher, R. (2021). Climate-change risk analysis for global urban forests. Nature Climate Change 12(10):950-955. https://doi.org/10.1038/s41558- 022-01465-8.

Fawcett, D., Pearce, T., Ford, J. D., & Archer, L. (2017). Operationalizing longitudinal approaches to climate change vulnerability assessment. *Global Environmental Change*, *45*, 79-88.

Forman, R.T.T. (2014). *Urban Ecology Science of Cities*. Cambridge University Press, 1. Baskı.

Fors, H., Jansson, M., & Nielsen, A. B. (2018). The impact of resident participation on urban woodland quality—a case study of sletten, Denmark. *Forests*, *9*(11), 670.

Fryd, O., Pauleit, S., & Bühler, O. (2012). The role of urban green space and trees in relation to climate change. *CABI Reviews*, (2011), 1-18.

Genç, F. N. (2007), "Türkiye'de Kentleşme ve Doğal Afet Riskleri ile İlişkisi", TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, 349- 358

IPCC, 2022. Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Cambridge (United Kingdom) and New York (NY, USA): Cambridge University Press. 3056p. https://www.ipcc.ch/ report/sixth-assessment-report-working-group-ii.

Isbell, F., Craven, D., Connolly, J., Loreau, M., Schmid, B., Beierkuhnlein, C., ... & Eisenhauer, N. (2015). Biyolojik çeşitlilik, ekosistem üretkenliğinin iklim uçlarına karşı direncini artırır. *Doğa* , *526* (7574), 574-577.

Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Schöngart, J., Cohn-Haft, M., Adeney, J. M., & Wittmann, F. (2011). A classification of major naturally-occurring Amazonian lowland wetlands. *Wetlands*, *31*, 623-640.

Lehmann, S. (2023). Reconnecting with nature: Developing urban spaces in the age of climate change. *Emerald Open Research*, *1*(5).

Liu, O. Y., & Russo, A. (2021). Assessing the contribution of urban green spaces in green infrastructure strategy planning for urban ecosystem conditions and services. *Sustainable Cities and Society*, *68*, 102772.

Mawdsley, J. R., O'malley, R., & Ojima, D. S. (2009). A review of climate-change adaptation strategies for wildlife management and biodiversity conservation. *Conservation Biology*, *23*(5), 1080-1089.

MEA, (2005). Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Wellbeing: Opportunities and Challenges for Business and Industry. World Resources Institute, Washington, DC.

Nowak, D.J. & Dwyer, J.F. (2000). Understanding the Benefits and Costs of Urban Forest Ecosystems. [Kuser, J.E. (der.)] Handbook of Urban and Community Forestry in the Northeast., New York, NY: Kluwer Academics/Plenum, 11-22.

Oliver, TH, Heard, MS, Isaac, NJ, Roy, DB, Procter, D., Eigenbrod, F., ... & Bullock, JM (2015). Ekosistem işlevlerinin biyolojik çeşitliliği ve dayanıklılığı. *Ekoloji ve evrimdeki eğilimler* , *30* (11), 673-684.

Opdam, P., Luque, S., & Jones, K. B. (2009). Changing landscapes to accommodate for climate change impacts: a call for landscape ecology. *Landscape ecology*, *24*, 715-721.

Özkaplan Yörüklü, N. (2021). İklim Değişikliği ve Küresel Isınma İçin Peyzaj Mimarlığı Stratejileri: İklim Değişikliği Politikaları Peyzaj Beyanı. *Peyzaj*, *3*(1), 43-55.

Roth, M. (2013). *Urban Heat Islands*. [Harindra, J. & Shermal, F. (der.)] Handbook of Environmental Fluid Dynamics. Taylor & Francis Group, 2: 143-163.

Sandal Erzurumlu, G. (2025). İklim Değişikliğine Uygun Süs Bitkisinin Kullanımı. *Bahçe*, *54* (Özel Sayı 1), 393-399.

Sgrò, C. M., Lowe, A. J., & Hoffmann, A. A. (2011). Building evolutionary resilience for conserving biodiversity under climate change. *Evolutionary applications*, *4*(2), 326-337.

Sönmez Erdoğan, F. (2024). Ekolojik Bakış Açısıyla Kentsel Dirençlilik Kavramının İrdelenmesi. *Peyzaj*, *6*(2), 86-95.

Strom, S., Nathan, K. ve Woland, J. (2013). Site Engineering for Landscape Architects. 6th edition, John Wiley & Sons, Hoboken: NJ.

Suster, L., 2021. 30 reasons why landscape architecture is more important than you think. https://www.land8.com.

Tamim, T., & Tariq, H. (2015). The intersection of caste, social exclusion and educational opportunity in rural Punjab. *International Journal of Educational Development*, *43*, 51-62.

Teixeira, C. P., Fernandes, C. O., Ryan, R., & Ahern, J. (2022). Attitudes and preferences towards plants in urban green spaces: Implications for the design and management of Novel Urban Ecosystems. *Journal of environmental management*, *314*, 115103.

Ugolini, F., Massetti, L., Calaza-Martínez, P., Cariñanos, P., Dobbs, C., Ostoić, S. K., ... & Sanesi, G. (2022). Understanding the benefits of public urban green space: How do perceptions vary between professionals and users?. *Landscape and urban planning*, *228*, 104575.

von Holle, B., Yelenik, S., & Gornish, E. S. (2020). Restoration at the landscape scale as a means of mitigation and adaptation to climate change. *Current Landscape Ecology Reports*, *5*(3), 85-97.

Wilczyńska, A., Myszka, I., Bell, S., Slapińska, M., Janatian, N., & Schwerk, A. (2021). Exploring the spatial potential of neglected or unmanaged blue spaces in the city of Warsaw, Poland. *Urban Forestry & Urban Greening*, *64*, 127252.

Zhang, F., & Qian, H. (2024). A comprehensive review of the environmental benefits of urban green spaces. *Environmental research*, 118837.

Urban Microclimate Modeling with ENVI-met: A Review on Green Infrastructure and Climate-Responsive Urban Design

Nursevil YUCA[1*] Feran AŞUR[2]

[1´ ²] Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Architecture and Design, Department of Landscape Architecture,
[1*]nursevilyuca@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7985-7706
[2]feranerkasur@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-9480-5536

Abstract

In recent years, as the effects of global climate change have begun to be felt more in cities, the temperature in cities has increased and thermal comfort has decreased. In cities facing these problems, nature-based strategies in the form of green infrastructure applications and sustainable urban design approaches stand out in improving microclimatic conditions. ENVI-met is a three-dimensional simulation model widely used to perform microclimatic analyses and evaluate the thermal effects of green areas, planting types and surface coverings in line with various scenarios.

In this compilation study, what ENVI-met software is, its data entry requirements, limitations, advantages and disadvantages, current academic studies conducted using ENVI-met software have been examined and the effects of different planting strategies, green infrastructure elements in the form of green roofs, urban afforestation and material choices on urban microclimate have been evaluated.

The findings show that ENVI-met is effective in predicting the effects of different design alternatives on microclimate, especially in small-scale urban areas, and that the heat effect can be reduced in cities with green infrastructure scenarios, and that it has a high potential to provide shading and increase thermal comfort. However, the disadvantages of the model such as the calibration process, insufficient local climate data, simulation time and limited plant database should also be taken into account.

In conclusion, this study emphasizes that ENVI-met modeling is a powerful tool for urban climate-friendly designs, and also draws attention to the importance of green infrastructure strategies in sustainable planning processes. It is recommended that future research test the applicability of the model in different climate zones and larger-scale projects.

Keywords: Thermal comfort, Microclimate, ENVI-met, KIA, Climate change

Introductıon

The subject of climate change first began to be included in scientific studies in 1827 when Joseph Fourier emphasized that the atmospheric layer was important in determining the temperature on earth and said that the atmosphere undertook a greenhouse-like function

(Dispensa and Brulle, 2003; Yuca, 2025). After the 19th century, with the increase in greenhouse gas accumulation in urban areas where human density increased, the importance of climate change was better understood and it was thought that one of the reasons for this could be humans.

Throughout history, people have affected the climate positively or negatively with the choices they made, affecting the livability and comfort level of living spaces. With the industrial revolution, the need for building stock increased due to the rapid increase in the population in cities. This rapid increase was quickly responded to by destroying the open-green areas and natural areas, which are the natural land cover in cities, and constructing irregular and unplanned structures in the places of these natural areas. As a result, cities have turned into areas with few open-green areas and natural areas and many impermeable surfaces. Thus, the topography, ecological structure and atmospheric features in cities have changed and have begun to have a separate ecology, a different climate and a different atmosphere from their surroundings (Rios and Ramamurthy, 2024). Since the land texture, morphological structure, amount of open-green areas and many other features in urban areas are different from each other, the negative effects of climate change vary from region to region. In this direction, studies on the negative effects of climate change are generally carried out separately for 4 different scales (Oke, 2002; Erell et al., 2012). These scales are macro scale, meso scale (urban scale), local scale and micro scale (Oke and Cleugh, 1987; Yuca, 2025). (Figure 1.).

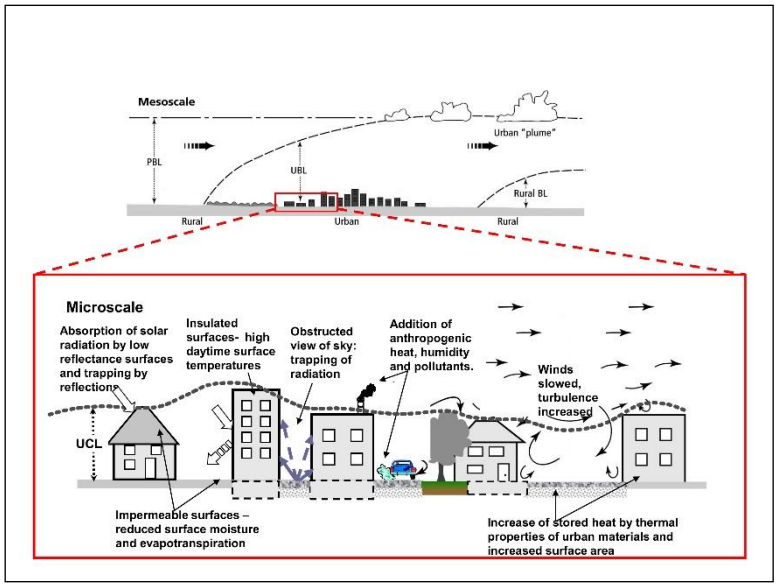


Figure 1. Impact areas of atmospheric events at different scales (Anonymous 2025a).

With the change in land use in cities, the gaseous and particulate components emitted into the atmosphere have changed, causing the composition of the air in urban areas to change and higher temperatures, lower humidity and weak wind movements to be seen in cities (Çağlak et al., 2022). As a result, the negative effects of global warming have begun to be felt more in urban settlements that have their own climate (Dodken et al., 2016). The reason for this is; the floor heights of buildings in urban areas, the form and density of buildings, the amount of shade

created by buildings and trees affecting the wind flow, the street width ratio, the ability of structural elements to reflect sunlight and many other factors change the heat flows of radiant temperatures (Oke and Cleugh, 1987). The biggest change that occurs at this scale is the Urban Heat Island (UHI) effect, which causes the formation of regional temperatures, which is seen as the biggest problem today (Tozam and Karaca, 2018). KIA is the situation where the natural land cover in urban areas changes and is replaced by impermeable hard surfaces, the air pollution in the region is trapped in the urban atmosphere due to increased vehicle traffic, and the air temperature values of urban settlements are higher than the surrounding rural areas due to the increase in carbon dioxide and other greenhouse gas emissions as a result of increased anthropogenic activities (Landsberg, 1981). (Figure 2).

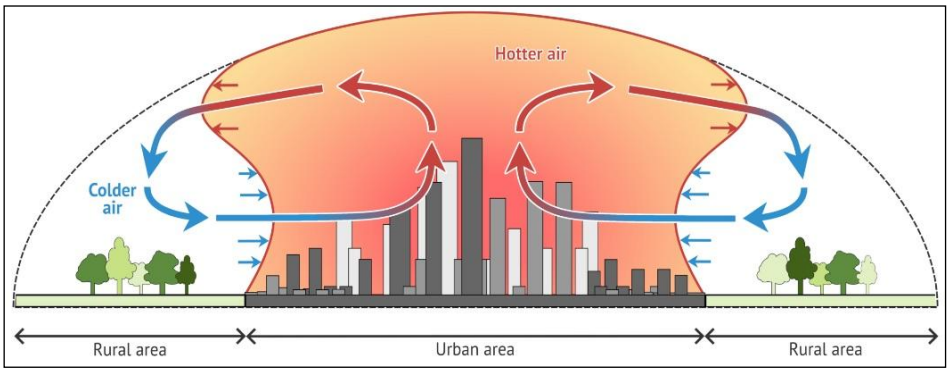


Figure 2. Temperature difference between urban and rural settlements (KIA) (Anonymous 2025b).

Due to the increasing heat waves in cities due to the increase in the HIA effect, heavy rains, droughts and other extreme weather disasters in urban settlements (Ganeshan et al., 2013), increased heat strokes, increased mortality rates (Başa et al., 2024), increased thermal comfort in the city and increased mental health problems that may occur as a result of stress, depression and anxiety in people living in cities, high temperatures increase aggressive tendencies in people (Ranson, 2014), and the experience of the elderly in cognitive skills decreases when they are exposed to air pollution for a long time (Dodgen et al., 2016).

The HIA effect is an increasing source of concern in densely populated cities due to the negative effects on human health and thermal comfort by increasing environmental degradation in urban settlements. In order to find a solution to this problem, studies have begun to be carried out for settlement areas with different scales and settlement typologies. As a result of these studies, it has been revealed that outdoor spaces with natural landscape elements replacing structural areas that cause the KIA effect have healing and renewing effects on people's physical and mental health, reduce mental fatigue and increase people's focus, the time spent in these spaces effectively reduces stress and improves the individual's psychological and physiological performance (Ulrich et al., 1991), sleep patterns improve in elderly individuals whose outdoor use increases, they say they have less pain, and the symptoms of dementia and Alzheimer's diseases slow down (Jacobs et al., 2008). As can be seen from the aforementioned studies, positive effects on the health of people using outdoor spaces with less structural density and more natural landscape texture have been determined.

In these studies, the importance of green infrastructure systems in reducing KIA effects has generally emerged. Green infrastructure systems contribute to reducing the impact of KIA by playing an important role in ensuring the health, thermal comfort and sustainability of both present and future urban environments with planning and design approaches focusing on the protection of existing natural and green areas (Shakouri, 2016; Ortaçeşme and Altunbey, 2022). This system includes providing shading in outdoor areas, managing the use of water, and creating green roofs and green walls. (Figure 3.).

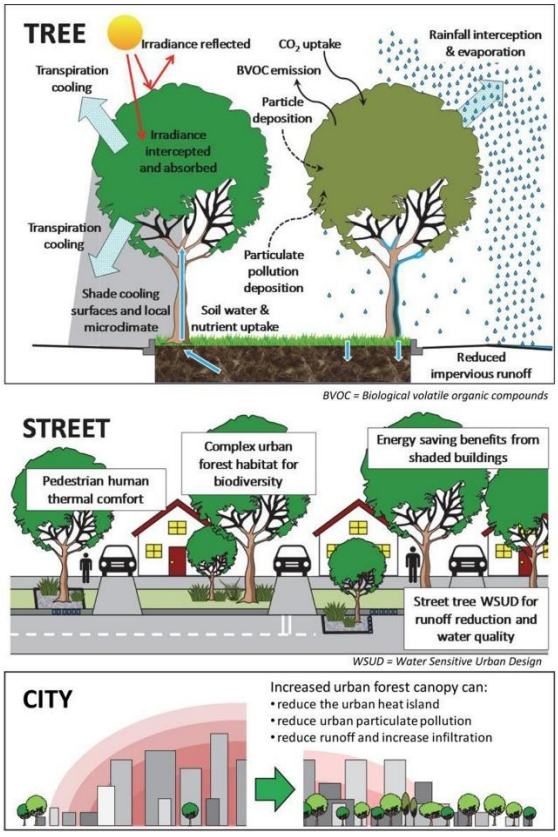


Figure 3. Ecosystem service of trees at street and urban scale (Livesley et al., 2016).

Green infrastructure systems, which have an important place in reducing the KIA effect, include various applications such as preserving and increasing natural green areas in urban areas, afforestation, grassing, vegetation, water management and energy efficiency. The effects of these systems vary according to their scale. For example, green roofs installed on building roofs reduce the KIA at the building level, while larger-scale green areas such as parks and groves can reduce the KIA effect in the immediate vicinity (Farzaneh and Heidari ,2023; Johnson, 2025).

Due to the geometry and density of urban areas and the heating and radiation properties formed on their surfaces, the KIA effects in urban areas are different from each other, so green systems cannot have the same effect in every urban settlement area. Therefore, studies have been carried out recently to reduce the KIA effect in cities by creating different designs using green systems in different modeling programs.

In this context, sustainable urban design approaches and microclimate analysis tools are increasingly gaining importance. ENVI-met is a model that can perform 3D microclimate

simulations and is widely used in the analysis of various urban scenarios (Yuca, 2025). This study aims to evaluate the contributions of ENVI-met software to climate-focused design decisions by compiling its use in different application areas.

For this purpose, firstly, the general features of ENVI-met microclimate simulation, its areas of use, and its limitations are emphasized. Secondly, current studies conducted using this model are given. Finally, suggestions regarding the areas of use of this model are made in the conclusion and suggestions section.

1. ENVI-met Model: General Features and Methodological Structure

In this section, the general features of ENVI-met software, the areas of use, software inputs and outputs, and finally the advantages and disadvantages of the software are evaluated.

ENVI-met, which was developed by Michael Bruse in 1998 for urban microclimate simulations and is a 3D modeling software, is widely used in the fields of planning, environmental design, climate-focused design, architecture, and building design (Bruse and Fleer, 1998). This software offers the opportunity to perform microclimatic analyses by integrating atmospheric processes, vegetation, surface materials and building geometries in urban areas.

This software, which is a 3D microclimate simulation model that integrates various atmospheric, physiological and environmental processes at high spatial and temporal resolution, has one of its main application areas as the analysis of the impact of buildings on urban microclimate (Ali-Toudert and Mayer, 2004). The size and shape of buildings greatly affect human thermal comfort at street level, as they affect wind flow and solar access in the streets. Due to the difficulty of living conditions and deterioration of health status in areas where thermal comfort conditions are not good, this model has recently been widely used in conducting studies in areas where urban texture is high and the resulting KIA effect is high. The reason for its intensive use in studies is that the software consists of sub-models specially adopted to solve unique physical mechanisms in the background (Vurro and Carlucci, 2024). These sub-models;

• Long and short wave radiation fluxes taking into account shading,

• Radiation reflection from building facades, ground materials and vegetation,

• Evaporation and sensible heat fluxes from vegetation,

• Evaporation from water surfaces,

• Diffusion of chemical species,

• Distribution of particles,

• Heat and water transfer within the soil mass,

• Body/skin airflow interactions for thermal comfort calculations (Vurro and Carlucci, 2024).

Provided that the software settings are correctly defined, this tool is useful for predicting and evaluating KIA effects in urban settlements with reasonable accuracy. The latest version of the model, ENVI-met BIO Science 5.7.2, has advantages as well as disadvantages. In this respect, the data entered into the model, the findings obtained as a result of the simulation, the advantages and disadvantages of the model are mentioned.

• **Model Input Data:** The software performs simulations by entering various data such as meteorological data (e.g. air temperature, wind speed and direction, humidity), surface materials (albedo, heat capacity), plant characteristics (height, leaf area index) and building geometries.

• **Model Outputs:** ENVI-met software creates maps that provide spatial and temporal distributions of microclimatic parameters such as air temperature, surface temperature, wind speed and direction, relative humidity, mean radiant temperature (MDRT) and physiological equivalent temperature (FES).

• **Model Advantages:** It can simulate microclimatic conditions in urban areas at high resolution, which helps to make more conscious design decisions.

• It can be used in many areas such as green infrastructure planning,

• Reducing the KIA effect,

• Open space design and material selection.

• Since the simulation output is supported by 3D visualization tools, it is easier for users to perceive.

• **Disadvantages of the Model:** Since high-resolution simulations are obtained as model output, the processes take a long time.

• Since the processing time is long, mostly small-scale studies are carried out.

• The software may give errors when modeling for areas with low wind data.

• In order to obtain accurate results, the model must be carefully calibrated, which requires experience and expertise.

• In the event of any power outage, the model is reset and needs to be restarted.

• Since the plant species used in the model are not sufficient, the current situation of each study area cannot be simulated one-to-one.

• Since the implementation of the roof garden, which is a green system model, is more detailed, this process requires expertise.

2. Current Studies Using ENVI-met Climate Simulation

In this section, literature examples and findings obtained for different application areas of ENVI-met software, which is widely used in urban microclimate studies, are summarized (Tablo 1.);

Table 1. Studies Conducted Using ENVI-met Software

Application Area	Study Year	Study Title	Main Findings
Green Infrastructure	Irmak et al., 2020	Analysis of different urban spaces on thermal comfort in cold regions: A case from Erzurum.	"The study revealed that in cities with cold climates, water surfaces positively contribute to thermal comfort during the summer months, whereas they increase cold stress during the winter. In contrast, dense green infrastructure was found to have a balancing effect on urban thermal comfort in both summer and winter seasons.
Green Infrastructure	Farzaneh and Heidari ,2023	Evaluation of the Role of Green Infrastructure in Microclimate and Building Energy Efficiency	Green infrastructure interventions have been shown to reduce ambient temperatures and enhance thermal comfort.
Green Infrastructure	Farrag and Mehana 2024	*The impact of green infrastructure on urban heat island phenomenon in existing cities*.	It was determined that planting trees in a grid pattern reduced the air temperature by an average of 0.7 °C, the mean radiant temperature (MDRT) by 9 °C, and the predicted mean vote (PMV) by 0.6.
Green Infrastructure	Fan et al., 2025	The impact of vegetation layouts on thermal comfort in urban main streets: A case study of Youth Street in Shenyang.	It was found that air temperature, mean radiant temperature (MDRT), and sky view factor (SVF) have a positive correlation with the FES value. Additionally, street trees were observed to reduce air temperature and wind speed while increasing humidity levels.
Green Infrastructure	Yilmaz et al., 2025	Investigating the effect of blue–green infrastructure on thermal condition—Case study: Elazığ, Turkey.	The integrated use of blue-green infrastructure elements has been found to be effective in reducing the Urban Heat Island (UHI) effect and enhancing thermal comfort.
Green Infrastructure and the Use of Materials	Tan et al., 2021	The potential of vegetation to mitigate urban heat islands depends on local surface type and shading.	It has been found that the use of high-albedo materials along with vegetation can reduce the Urban Heat Island (UHI) effect on the land surface, and that planting vegetation on shaded surfaces provides marginal additional cooling.
Green Infrastructure and the Use of Materials	Cuce et al., 2025	Towards sustainable and climate-resilient cities: Mitigating urban heat islands through green infrastructure.	Strategically placed trees have been shown to provide significant shading and evapotranspiration benefits.
Green Infrastructure and the Use of Materials	Zhang et al., 2025	Quantifying the impact of building material stock and green infrastructure on urban heat island intensity.	It has been observed that areas with high heat-absorbing materials (e.g., dark-colored asphalt) exhibit a more pronounced Urban Heat Island (UHI) effect, whereas green infrastructure elements (e.g., trees, green roofs) mitigate this impact.
Use of Materials	Ouyang et al., 2022	Evaluating the thermal-radiative performance of ENVI-met model for green infrastructure typologies: Experience from a subtropical climate.	Surface materials with high albedo values have been found to reduce surface temperatures and enhance thermal comfort.
Use of Materials	Johnson, 2025	Cool roofs could fight Atlanta's rising heat.	It has been determined that cool roofs can reduce temperatures citywide by an average of 1.4°C (2.5°F) and that this application can help mitigate the Urban Heat Island (UHI) effect.
Use of Materials	Smithvand Lee, 2024	On the role of the building envelope on the urban heat island effect.	High-reflectance roofing and façade materials have been observed to reduce building surface temperatures and mitigate increases in ambient temperature.
Urban Morphology	Xiang et al., 2023	Exploring the Correlation between Urban Microclimate Simulation and Urban Morphology: A Case	It was found that high-rise residential buildings increase outdoor temperatures, while open spaces play a significant role in reducing neighborhood temperatures.

		Study in Yeongdeungpo-gu, Seoul.	
Urban Morphology	Yun et al., 2023	Developing a three-dimensional urban surface model for spatiotemporal analysis of thermal comfort with respect to street direction.	It was determined that a small change in street orientation has a significant impact on pedestrian thermal comfort.

As shown in Table 1, studies conducted using the ENVI-met software indicate that green infrastructure systems generally contribute to urban environments by providing shading, thereby reducing Mean Radiant Temperature (MRT) values and enhancing thermal comfort. Strategically placed vegetation, particularly trees positioned in a way that does not obstruct wind flow based on settlement characteristics, has been found to decrease air temperature and mitigate the Urban Heat Island (UHI) effect while increasing humidity levels. Furthermore, the use of light-colored materials reduces heat retention, leading to a decrease in air temperature.

3. Conclusion and Recommendations

Cities, due to their dense populations and their role as centers for major economic activities such as industry, are both a significant contributor to climate change and among the most affected by its impacts. While it is often considered that the increasing effects of climate change in recent years have led to a decline in thermal comfort and negatively impacted human health in urban areas, the cumulative effects of these micro-scale changes have reached a global dimension. Thus, the issue is no longer limited to micro-scale climate change but has evolved into a global climate change problem affecting the entire planet.

To address the global climate change crisis now a problem that transcends national boundaries—a holistic approach should be adopted that emphasizes local-scale actions and even individual-level efforts, rather than relying solely on global-scale strategies. In this context, over the past 50 years, research-based software tools have been developed and made available to scientists to analyze micro-scale climatic conditions in various urban settlements.

Among these tools, the ENVI-met microclimate simulation software has recently gained prominence due to its ability to contribute effectively to sustainable urban design processes at the microclimatic level and to deliver highly accurate results. Based on the findings of this study, several recommendations are proposed regarding the use of ENVI-met in mitigating or preventing the effects of climate change:

- First, since each settlement area has unique morphological characteristics, ENVI-met should be tested with a wider range of scenarios across different climate zones;
- Emphasis should be placed on ENVI-met's effectiveness as an analytical tool in green infrastructure design;
- Resilient design strategies for critical areas should be developed using ENVI-met in anticipation of future heatwaves;
- Modeling new residential areas can help predict and visualize potential heat stress scenarios;

- ENVI-met should be employed as a decision-support tool for urban planners, landscape architects, and policymakers.

The use of climate modeling tools, particularly in green infrastructure planning, is of critical importance in enhancing thermal comfort, creating sustainable living environments, and reducing energy consumption.

4. References

Anonim 2025a. https://www.canada.ca/en/services/health/publications/healthy-living/reducing-urban-heat-islands-protect-health-canada.html

Anonim 2025b. https://yesilgazete.org/kentsel-isi-adasi-etkisine-karsi-kirsal-tampon-halkasi-ise-yarayabilir/

Başa, Ş., Sağır Kurt, E., Atlı, E., & Çarpar, T. (2024). On the path to becoming a climate-resilient megacity: Istanbul. *Resilience, 8*(2), 185–203. https://doi.org/10.32569/resilience.1499687

Cuce, P. M., Cuce, E., Santamouris, M. (2025). Towards sustainable and climate-resilient cities: Mitigating urban heat islands through green infrastructure. *Sustainability, 17*(3), 1303.

Çağlak, S., & Türkeş, M. (2022). Analysis of the spatial distribution of thermal comfort conditions in current and future climate scenarios: The case of Bolu city with a new approach. *Journal of Geographical Sciences, 20*(2), 338–358. https://doi.org/10.33688/aucbd.1097989

Dispensa, J., Brulle, R. (2003). Media's social construction of environmental issues: Focus on global warming—a comparative study. *International Journal of Sociology and Social Policy, 23*(10), 74–105.

Dodgen, D., Donato, D., Kelly, N., La Greca, A., Morganstein, J., Reser, J., Ursano, R. (2016). *Mental health and well-being*. U.S. Global Change Research Program.

Erell, E., Pearlmutter, D., Williamson, T. (2012). ***Urban microclimate: Designing the spaces between buildings***. Routledge.

Fan, L., Zhao, M., Huo, J., Sha, Y., Zhou, Y. (2025). The impact of vegetation layouts on thermal comfort in urban main streets: A case study of Youth Street in Shenyang. *Sustainability, 17*(4), 1755.

Farrag, B., & Mehana, W. (2023). *The impact of green infrastructure on urban heat island phenomenon in existing cities*. Engineering Research Journal, 8(2), Article 35.

Farzaneh, M., & Heidari, S. (2023). Evaluating the Role of Green Infrastructure in Microclimate and Building Energy Efficiency. *Buildings*, 14(3), 825.

Irmak, M. A., Yilmaz, S., Mutlu, E., Yilmaz, H. (2020). Analysis of different urban spaces on thermal comfort in cold regions: A case from Erzurum. *Theoretical and Applied Climatology*, *141*(3), 1593–1609.

Jacobs, J., Cohen, A., Hammerman Rozenberg, R., Azoulay, D., Maaravi, Y., Stessman, J. (2008). Going outdoors daily predicts long-term functional and health benefits among ambulatory older people. *Journal of Aging and Health*, *20*(3), 259–272.

Johnson, L. (2025, June 2). Cool roofs could fight Atlanta's rising heat. *Axios Atlanta*. https://www.axios.com/local/atlanta/2025/06/02/atlanta-cool-roof-vote-heat-climateaxios.com

Landsberg, H. E. (1981). ***Urban climate.*** Academic Press.

Liu, T., Ouyang, S., Gou, M., Tang, H., Liu, Y., Chen, L., Lei, P., Zhao, Z., Xu, C., & Xiang, W. (2023). Detecting the tipping point between heat source and sink landscapes to mitigate urban heat island effects. *Urban Ecosystems*, *26*(1), 89–100. https://doi.org/10.1007/s11252-022-01294-9.

Livesley, S. J., McPherson, G. M., & Calfapietra, C. (2016). The urban forest and ecosystem services: Impacts on urban water, heat, and pollution cycles at the tree, street, and city scale. Journal of Environmental Quality, 45(1), 119-124. 10.2134/jeq2015.11.0567.

Oke, T. R., Cleugh, H. A. (1987). Urban heat storage derived as energy balance residuals. *Boundary-Layer Meteorology*, *39*(3), 233–245.

Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*. Routledge.

Ranson, M. (2014). Crime, weather, and climate change. *Journal of Environmental Economics and Management*, *67*(3), 274–302.

Rios, J., Ramamurthy, P. (2024). Impact of land use transformation on urban temperature dynamics. *Frontiers in Environmental Science.*

Smith, J., & Lee, K. (2024). On the role of the building envelope on the urban heat island effect. *Climate*, *12*(8), 113. https://doi.org/10.3390/cli12080113

Tan, J. K., Belcher, R. N., Tan, H. T., Menz, S., & Schroepfer, T. (2021). The potential of vegetation to mitigate urban heat islands depends on local surface type and shading. *Urban Forestry & Urban Greening*, *62*, 127128. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127128

Ulrich, R. S., Simons, R. F., Losito, B. D., Fiorito, E., Miles, M. A., Zelson, M. (1991). Stress recovery during exposure to natural and urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, *11*, 201–230.

Vurro, G., & Carlucci, S. (2024). Contrasting the features and functionalities of urban microclimate simulation tools. *Energy and Buildings*, *311*, 114042. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114042

Yilmaz, S., Menteş, Y., Jamei, E. (2025). Investigating the effect of blue–green infrastructure on thermal condition—Case study: Elazığ, Turkey. *Land, 14*(4), 891.

Yuca, N. (2025). *The effect of lakes on urban thermal comfort: The case of Lake Van* (Doctoral dissertation, Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Science). Van, Turkey.

Yun, S. H., Lee, D. K., Piao, Z. G., Park, C. Y., Kim, S. H., & Kim, E. S. (2023). Developing a three-dimensional urban surface model for spatiotemporal analysis of thermal comfort with respect to street direction. *Sustainable Cities and Society*, *97*, 104721. https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104721.

Ouyang, W., Sinsel, T., Simon, H., Morakinyo, T. E., Liu, H., & Ng, E. (2022). Evaluating the thermal-radiative performance of ENVI-met model for green infrastructure typologies: Experience from a subtropical climate. *Building and Environment, 207*, 108427.

Zhang, Y., Li, X., & Wang, M. (2025). Quantifying the impact of building material stock and green infrastructure on urban heat island intensity. *Building and Environment*, *237*, 110123. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.110123.

Xiang, Y., Chang, D., & Cheng, J. (2023). Exploring the Correlation between Urban Microclimate Simulation and Urban Morphology: A Case Study in Yeongdeungpo-gu, Seoul. arXiv preprint arXiv:2310.09779.

YAPAY ZEKÂNIN TASARIM EĞİTİMİ VE PEYZAJ MİMARLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Aysel YAVUZ
Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
Assist. Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture ayavuz75@homail.com, 05335189052
ORCID ID: 0000-0001-9425-2054

Habibe ACAR
Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture habibe@ktu.edu.tr, 05336394265
ORCID ID: 0000-0002-8682-0522

Nilgün GÜNEROĞLU
Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture nayhan@ktu.edu.tr, 05362383905
ORCID ID: 0000-0002-0825-0405

ÖZET

21.yüzyılda teknolojik ilerlemelerin baş döndürücü hızı, pek çok disiplini olduğu gibi tasarım eğitimini ve mesleki pratikleri de yeniden şekillendirmektedir. Özellikle YZ, son yıllarda yalnızca veri analizi ve otomasyon süreçlerinde değil, yaratıcı üretim alanlarında da belirleyici bir araç hâline gelmiştir. Mimarlık, şehircilik ve peyzaj mimarlığı gibi çevresel tasarım disiplinleri, bu teknolojik dönüşümün hem eğitim hem de mesleki boyutlarında önemli etkilerle karşı karşıyadır. Bu dönüşüm, tasarım eğitiminin yeni gerçekliğe nasıl uyum sağladığına dair eleştirel bir değerlendirmeyi gerekli kılmaktadır. Bu durum, klasik tasarım eğitimi yaklaşımlarını yeniden değerlendirmesini ve disiplinin doğasını yeniden tanımlamayı sağlayacaktır.

Tasarım eğitimi, eleştirel düşünme, yaratıcılık ve teknik becerilerin bütünleştiği disiplinler arası bir süreçtir. Bu süreç öğrenciye; tasarım problemlerini yaratıcı vizyonun yönlendirmesine bağlı olarak çözme yeteneği kazandırmaktadır. Bu bağlamda, YZ nın tasarım eğitimiyle etkileşimi, eğitimdeki öğretim yöntemlerini, öğrenci-tasarım eğitmeni etkileşimini ve yaratıcı üretimin sınırlarını sorgulamayı zorunlu kılmaktadır. Benzer şekilde peyzaj mimarlığı disiplini de yalnızca estetik değil; ekolojik, sosyokültürel ve işlevsel kararları içeren çok katmanlı bir tasarım pratiği olduğundan, YZ nın bu alana etkisi çok boyutlu ve potansiyel olarak dönüştürücüdür.

Bu kapsamda, YZ nın tasarım eğitimindeki güncel işleyişe ve peyzaj mimarlığındaki uygulamalı süreçlere etkisi incelenmektedir. YZ teknolojilerinin tasarım eğitiminde nasıl bir rol üstlendiği tartışılarak, yaratıcı süreçlerde etik ve özgünlük bağlamında ortaya çıkabilecek yeni sorular ele alınarak, bu dönüşüm sürecine ilişkin eleştirel bir perspektif sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Üretken YZ, Tasarım Eğitimi, Yaratıcılık, Peyzaj Tasarım Teknikleri, Optimizasyon

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON DESIGN EDUCATION AND LANDSCAPE ARCHITECTURE

Abstract

In the 21st century, the dizzying pace of technological advancements is reshaping design education and professional practices as well as many other disciplines. In recent years, artificial intelligence (AI) has become a decisive tool not only in data analysis and automation processes but also in creative production. Environmental design disciplines such as architecture, urbanism and landscape architecture are facing significant impacts of this technological transformation in both educational and professional dimensions. This transformation necessitates a critical evaluation of how design education adapts to the new reality. This will enable a re-evaluation of classical design education approaches and a redefinition of the nature of the discipline.

Design education is an interdisciplinary process in which critical thinking, creativity and technical skills are integrated. This process gives the student the ability to solve design problems under the guidance of creative vision. In this context, the interaction of AI with design education necessitates questioning the teaching methods in education, student-design instructor interaction and the limits of creative production. Similarly, since the discipline of landscape architecture is a multi-layered design practice that includes not only aesthetic but also ecological, sociocultural and functional decisions, the impact of AI on this field is multidimensional and potentially transformative.

In this context, the impact of AI on the current functioning of design education and applied processes in landscape architecture is examined. By discussing the role of AI technologies in design education, new questions that may arise in the context of ethics and authenticity in creative processes will be addressed and a critical perspective on this transformation process will be presented.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, Design Education, Creativity, Landscape Design Techniques, Optimisation

1. Introduction

1.1. Digital World of Design

The 21st century pace of technological progress reshapes the scientific research environment (Ray, 2023), design education and professional practice, as well as many disciplines. In recent years, artificial intelligence (AI) has become a decisive tool not only in data analysis and automation processes but also in creative production. Design disciplines such as architecture, urbanism and landscape architecture are facing significant impacts of this technological

transformation in both pedagogical and professional dimensions. In addition to being a tool, AI also affects the disappearance of traditional design methods.

AI initially aimed to realise the dream of an ‘electronic brain’ by integrating computer capabilities such as information, physical strength, emotional perception and language. AI did not replace human natural physiological activities, but assisted humans through simple mechanical behaviour or mental logic (Ning et all., 2024). Today, AI is transforming both the pedagogical and practical dimensions of design disciplines.

Thanks to these developments, AI-based text converters and visual production tools lead to significant changes in design processes. These technologies enable the development of innovative approaches and facilitate the exploration of more efficient and creative design possibilities (Mance, 2025). These rapid developments bring to the fore the urgent need for planning for the effective use of AI technologies in higher education. In this context, intensive/inadequate use of the current potential of AI technologies in design education may bring some risks. Therefore, the lack of guidelines or limitations for using emerging AI technologies may become a significant disadvantage in the long run (Iranmanesh & Lotfabadi, 2024). It is seen that the number of certified course programmes providing design training with Chat GPT, Gemini, Archivinci, Figma, Canva, DALL-E, Midjourney, Stable Diffusion Copilot and Adobe FireFly is increasing day by day. Comprehensive programmes that enable the effective use of AI technologies in design processes provide the opportunity and skills to take projects to professional levels.

Design education is a process in which critical thinking, interactive learning, creativity and technical skills are integrated. In recent years, AI-based applications cause transformations in both education and professional practice in fields such as architecture and landscape architecture. This makes it necessary to re-evaluate classical pedagogical approaches and redefine the nature of the discipline. Albayrak & Kılıç (2025) emphasise in their study that the use of these models by students can support their creative processes. However, it also leads to negative consequences such as atrophy of students' design skills, loss of aesthetic perspective and distancing from originality. The results of the research emphasise that AI possibilities can be beneficial if they are used to feed the creative world of human beings, otherwise they can weaken traditional design and problem solving skills.

The digitalization process confronts the architectural profession with both opportunities and structural challenges. Today, architects are not only limited to design, but also have to take an active role in the integration of artificial intelligence and digital tools into design processes (Mance, 2025). In particular, AI technologies automate tasks such as communication, assessment, management and progress tracking of architecture students. These results have a potential as transformative tools in learning environments. The emergence of image-generating AI technologies in creative disciplines like architecture, graphic design, and literature marks a recent and potentially disruptive shift in these fields (Iranmanesh & Lotfabadi, 2024).

The use of digital design methods in architectural education seems to be at the beginning of its development. There are various initiatives to articulate expectations in this area and to systematically integrate digital planning into the architectural curriculum. This process necessitates defining the minimum level of digital literacy that students should acquire during their education. In this context, there is a need to develop a common approach across the profession (Mance, 2025).

The guide “Digital Planning in University Education” published by the Federal Chamber of Architects in Germany raises fundamental questions such as what knowledge, skills and competencies are required for architects of the digital age. It also addresses how and why digital methods should be integrated into design processes. On the other hand, this integration process requires lecturers to assess the advantages of digital technologies compared to traditional methods. At the same time, one has to be cautious about the risk that courses and studio work in architecture faculties will turn into software-only education. Such a transformation may contradict the principles of the Bologna process, which embraces experimental and innovative teaching (Mance, 2025).

Landscape architecture is not only a professional discipline that produces solutions to the environmental problems of the moment. Landscape Architecture is about the past, present and future. In this study, the impact of AI technologies on pedagogical functioning in design education and practical processes in landscape architecture is analysed. In the first stage, the role of AI technologies in design pedagogy is discussed. In the second stage, how data-driven approaches in landscape architecture practice are evaluated with AI is analysed. Finally, a critical perspective on this transformation process is presented by addressing new questions that arise in the context of ethics and authenticity in creative processes.

1.2.New Interaction between Artificial Intelligence and Design Disciplines

The design studio is the core point of architecture and landscape architecture education. The interactive learning process takes place through the process of learning by doing (Iranmanesh & Lotfabadi, 2024). It is an environment where students seek solutions to design problems that increase in scope every semester through trial and error, communicate with the studio coordinator and perform the act of designing (Akyıldız, 2020). Design education is a process in which not only technical skills but also critical thinking, problem solving and creative vision are developed. In this context, the interaction of AI with design pedagogy necessitates questioning the teaching methods in education, student-teacher interaction and the limits of creative production. Likewise, since the discipline of landscape architecture is a multi-layered design practice that includes not only aesthetic but also ecological, sociocultural and functional decisions, the impact of AI on this field can be multidimensional and potentially transformative.

AI transforms the designer from a mere ‘drawing person’ to a professional who works with data, analyses and builds systems. As exciting as this transformation may seem, it creates uncertainties in terms of professional identity, employment and educational goals. In the case of design education, this situation also redefines the nature of the design process, the understanding of originality and the distribution of pedagogical roles. The trainer is no longer just a knowledge transmitter, but a guide who manages the creative balance between AI and human beings. As Chiu (2023) states, educators' perspectives are crucial for making sense of innovative technologies.

New generation designers have the opportunity to work with subjects such as AI literacy, data visualisation, automation strategies, not with the classical education model. In this process of change, the core values of landscape architecture such as ‘human touch’ and ‘sensitivity to space’ should not be ignored.

Although AI is traditionally seen as a field belonging to engineering and computer science, in recent years it has been increasingly used in creative disciplines. Since AI cannot yet produce with human emotion and aesthetic understanding, the design process usually develops based on

human intuition, aesthetic judgement and experience. However, AI introduces a new form of production by moving this process to a data-driven and algorithmic ground.

The design process involves not only visual production but also problem definition, interpretation, contextualisation and intuitive decision making. Although the visual production capability of AI technologies offers great advantages in the early stages of design, it may blunt students' critical thinking skills about design. In other words, a tendency towards ‘producing instead of thinking’ may weaken the philosophical and human dimensions of design. In his research, Mance (2025) emphasised that traditional tools such as CAD and Office applications continue to be the mainstay of architectural practice and resist change while providing a fundamental basis for the integration of new technologies.

At this point, the question of working with AI or working for AI becomes important. The student should remain the subject of the creative process and position the technology as an ‘assistant’. Otherwise, design can only turn into the act of choosing between the variations suggested by algorithms.

Gen AI (Generative Artificial Intelligence) refers to intelligent algorithms that can mimic human intelligence and interact with users through natural language. This technology has been developed to create new content and provide more appropriate responses to users' needs. Gene AI systems provide significant advantages, especially in written content production. For example, it can be used in the idea generation phase of academic writing processes. It can also support topics such as developing research questions or suggesting topics. In addition, it also contributes to stages such as text editing and proofreading. Checking grammar, correcting spelling mistakes and improving the readability of the text are some of these contributions. In this way, it offers continuous and versatile support to users throughout the academic writing process (Kim et all., 2025). ChatGPT, developed by Open AI, shows great promise in improving efficiency, facilitating collaboration, and fostering innovation in various applications and the field of scientific research (Ray, 2023). However, AI-based web platforms such as ChatGPT are not always completely reliable. These systems may occasionally make mistakes and produce inaccurate information. At this point, an important question arises. Are students capable of evaluating the reliability of the information produced by such systems and its relevance to their own learning processes? (Chiu, 2023). In particular, machine learning, natural language processing and visual generation algorithms radically transform the tools for idea development, analysis and presentation in architecture and design studios. AI plugins integrated with parametric tools such as Rhino-Grasshopper enable rapid generation of design alternatives. AI-based visualisation tools such as Midjourney, DALL-E, Stable Diffusion also enable students to transform their conceptual thinking into impressive visual outputs.

Design education is a multifaceted process that aims to develop both the technical skills and the creative and critical thinking abilities of the student. The integration of AI technologies into this process reshapes learning methods, studio practice and even the philosophy of education. In this section, the effects of AI technologies on design education will be discussed under three main headings.

1.3.The effects of Artificial Intelligence on design education

1.3.1. Intervention in Individual Learning Processes

Artificial intelligence has the capacity to support learner-centred education, delivering content according to each individual's learning speed, knowledge level and interests. For example, thanks to natural language processing technologies, students can work with AI assistants who explain complex concepts at their own level. This allows the instructor to use his/her limited time more effectively, while providing instant answers to students' individual questions.

In addition, AI-based learning management systems can analyse the student's progress, identify areas where he/she is deficient and recommend specific materials. Thus, the learning process becomes more dynamic, data-supported and feedback-oriented.

1.3.2. New Tools and Idea Generation in Creative Processes

Perhaps the most striking effect of AI technologies is their contribution to the creative processes of designers. Thanks to visual production systems, abstract ideas can quickly transform into concrete images. This allows students to test and diversify their ideas, especially during the preliminary design and idea development stages (Albayrak & Kılıç, 2025). On the other hand, it prevents students from focusing on a single solution by providing multiple scenario generation with AI solutions integrated with digital design tools. This increases the flexibility of thought and critical evaluation ability. However, here, the options offered by AI technologies are only suggestions and creative decisions are expected to belong to human beings.

1.3.3. Critical Thinking, Originality and Ethics Discussion

Although AI-supported tools produce easily accessible ideas and images, this situation raises the problems of creative laziness and originality. If students proceed only through the visuals provided by AI technologies, it may cause them to move away from intellectual depth and contextual readings.

A new task for educators is therefore emerging. this task involves training how to question and criticise the outputs of AI technologies and how to train students to think with AI. The problem is not to use AI, but to think critically with AI and to take responsibility for its production.

2. Artificial Intelligence in Landscape Architecture Practice

Landscape architecture is a discipline that focuses on the reading of ecological processes, the conservation of cultural landscapes and the analysis of user needs, as well as the design of urban areas containing natural elements. This multi-layered structure requires landscape architects to analyse and interpret complex systems simultaneously.

AI contributes directly to landscape design by analysing large data sets. One of the biggest contributions of AI technologies in space design is the possibility of personalisation by reading user behaviour data. This enables the generation of meaningful and unique solutions as well as alternative options for different user profiles. Spaces can be adapted to meet the personal needs of different user groups such as young people, elderly people, students and disabled people.

At this point, AI technologies allow students to visualise their ideas and explore new creative ways. In addition, big data such as data evaluation, data processing, user movements, topographical analysis can be analysed with AI to make healthier design decisions. For example, data such as topographical analyses, climate change scenarios, vegetation distribution can be processed with AI algorithms to provide guidance in spatial decision-making processes. Likewise, human-centred approaches such as monitoring user behaviour with sensor data or spatial analysis of social media content are new data sources contributed by AI technologies.

AI also redefines the designer's relationship with nature in areas such as ecosystem modelling and green infrastructure planning, taking into account the relationship between nature conservation and technology. In this way, landscape architecture will transform into a discipline that tries to re-read not only nature but also nature and human beings through data. This transformation will expand the role of the designer as an environmental analyst and system constructor.

Landscape architecture is a discipline that integrates natural processes with the built environment and requires both aesthetic and functional decisions. The integration of artificial intelligence into this field creates a wide range of effects from the design process to the planning and maintenance stages. The contribution of AI technologies to the field of landscape architecture can be evaluated under three main headings.

2.1. Field Analysis and Decision Support Systems

Landscape architects have to evaluate many data such as topography (slope, elevation, land form), microclimate (temperature, precipitation, wind direction, sunshine duration, shading, air pollution), water resources (groundwater, rainwater accumulation, irrigation needs), vegetation, colour composition, flowering period, soil data (PH value, moisture content, permeability), noise, user behaviour, cost and legal regulations. Collecting and interpreting these data with traditional methods is quite time consuming. However, AI-based systems can analyse these complex data much faster and quickly visualise the potentials and risks of the space. Moreover, AI can adapt the space to user needs in real time.

For example, satellite imagery, drone data or sensor systems can be processed with AI-supported algorithms to automatically identify areas at risk of erosion, stormwater runoff paths or areas most exposed to sunlight. This allows more precise and sustainable decisions to be made. AI optimises the design according to the desired objectives (ecological balance, water consumption, aesthetics, cost).

2.2.Material selection

AI also helps with the selection of building materials. In particular, it optimises the use of environmentally friendly, recyclable or energy efficient materials. It helps to select the most suitable materials in terms of economy, quality and availability and analyses the environmental impact of each material included in the design process..

2.3.Alternative Scenario Development and Simulation

AI can analyse accessibility opportunities, connectivity, user flow, density points and user preferences in public spaces. In line with this data, designers can make accurate inferences about which areas should be included in the design of landscape projects, where there will be more intense participation, or in which areas congestion may occur. Design improvements can then be made based on factors such as event diversity, venue size and location.

Especially simulation and scenario generation facilitate the transfer and understanding of the thought in 3D in design processes. In this process, developing alternative landscape design scenarios with AI, generating alternative options and visualising the results can provide significant advantages in the planning process. AI enables the rapid generation of different scenarios for the same landscape area. The results of changes that can be made with different planting strategies, access roads, seating areas or water elements can be compared with visual

or statistical outputs in a short time. In addition, by using 3D modelling and virtual reality technologies, potential problems in design can be identified before the space becomes physical.

For example, parameters such as seasonal plant change, shade simulation, water consumption calculations or user density estimates can be analysed in real time with the data processing power provided by AI. This makes it easier to produce convincing results in project presentations and allows the designer to support spatial decisions with numerical data.

2.4.Smart Landscapes, comfort and security

AI offers great possibilities not only in the design phase, but also for the management and sustainable maintenance of designed areas. Smart irrigation systems can process data from soil moisture sensors and irrigate only where necessary. AI-powered maintenance systems can optimize maintenance schedules by predicting when to mow or prune. They can also improve waste management processes and optimize the use of natural resources. Such systems can reduce costs in the long run, while reducing environmental impact.

AI optimizes natural air conditioning systems by analyzing the hours and duration of the user's presence in public spaces and the temperature requirements of the space. This optimizes the quality of space by increasing user comfort. Moreover, it can improve people's physiological and psychological health, which in turn can improve work efficiency in everyday life.

Safety in public spaces is an important issue. Therefore, the AI can determine which areas should be illuminated, how and when, and adjust light levels accordingly. This application saves energy and provides an opportunity for users to be in a safer environment.

In addition, AI systems that analyze user movements can reveal the spatial distribution of use by measuring the intensity of circulation in parks. By identifying the most preferred places and their features, the reasons for preference can be determined. It can also be made more efficient over time depending on user feedback and changes in the space. In fact, AI can improve the user experience not just once, but continuously. This process allows for a dynamic structure in space design. AI, which monitors and analyzes users' interactions with the space, can then continuously improve the design by using this data. Thus, by observing the user experience with data, future design interventions can be made more relevant and effective.

3. Creativity, Ethical Issues and Originality

While artificial intelligence (AI) technology has many benefits, some significant challenges and concerns remain. Chief among these concerns is data privacy violations. In addition, the protection of intellectual property rights is also one of the issues to be considered in the use of AI. If students become overly dependent on such facilitating tools, it may negatively affect their learning process. In addition, ethical issues such as plagiarism also make the use of AI in education controversial (Kim et all., 2025). As much as AI technologies support the creative process, there are also cases where they call into question the role and authenticity of the designer. Students may become dependent on AI-supported production tools. This may weaken critical thinking and design problem solving skills. Moreover, the influence of algorithmic biases in data-driven decision-making processes may lead to ethical problems in highly sociopolitical fields such as public space design.

Thinking about how to use this technology in the right way is of great importance today. Because it is no longer just a matter of using technology, but of directing it in a conscious and purposeful way. In this context, it is a great opportunity to generate new academic knowledge

by integrating technology into education and research processes. Especially in the process of training future professionals, utilizing these tools has the potential to improve the quality of education. However, the key point here is to question how we can use technology ethically and efficiently to improve our work, rather than letting it drive us. Therefore, looking for ways to work with this technology will both support our professional development and contribute to the academic world (Lund & Wang, 2023).

The content produced by AI technologies often emerges by learning from large datasets. This creates new debates on issues such as originality in design and intellectual property rights. When students or professionals unwittingly use visual data from other artists, photographs or historical artifacts, they risk plagiarism or unethical production.

Therefore, it is necessary to develop ethical codes and transparency principles regarding the use of AI in educational environments. It is important to clarify what is produced with which tools, which decisions are made with human intervention.

AI is undoubtedly an important transformation tool in design education and landscape architecture. However, for this transformation to proceed in a healthy way, AI literacy in education, the understanding of human-AI collaboration in design processes should be developed, and at the same time, ethical boundaries and creative originality discussions should be part of the education. Design students should not only use artificial intelligence as a tool, but also understand how it works, evaluate and criticise its results. Educational institutions and professional organizations should determine the ethical principles and citation rules to be used in AI-based productions. Modules that include collaboration with different disciplines in design education should be increased and best possible scenarios should be developed. It should be ensured that the productions made with AI are not presented to the student without thinking, and that each output can be questioned, justified and contextually analyzed. Most importantly, artificial intelligence should be used to increase the potential of the designer, not to replace the designer. This balance will determine the future of the profession. This study aimed to assess the implications of AI for design and landscape architecture education, highlighting both opportunities and risks. Future work should focus on monitoring the long-term effects of AI, testing its compatibility with pedagogical approaches and developing new creative strategies. In this context, the relationship between a nature-based discipline such as landscape architecture and technology should be rethought in all its dimensions.

4. Conclusion and Recommendations

The introduction of productive AI technology into the field of design education not only improves the digital skills of educators and students, but also helps to expand the teaching methods and means of design majors, innovate the teaching content, and enrich the teaching level. Therefore, in order to improve design education, in order to better cultivate design talents that meet the needs of the times, educators should deeply understand and master the basic principles of productive AI technology, and actively explore how to effectively integrate this technology into professional teaching (Ning et all., 2024).

AI causes a radical transformation process in many disciplines. This transformation is not only an instrumental development, but also reshapes the pedagogical structure, creative process and forms of practice of the profession. This whole transformation process is not unique to landscape architecture. It necessitates collaboration with disciplines such as architecture, urban

planning, data science, graphic design and computer engineering. The potentials provided by AI technology encourage interdisciplinary studio environments, mixed research teams and hybrid project processes.

This contributes to design education becoming more open-ended, experimental and collective. The student develops not only as a designer but also as a researcher, critic and technology user.

AI has the potential to personalise learning processes and support the individual development of the student. It offers strong support in areas such as idea generation, scenario diversification and visualisation in the design process. In landscape architecture projects, more sustainable and data-based decisions are made with area analyses, maintenance scenarios and smart systems.

In this study, how artificial intelligence is integrated into educational processes, how it supports and challenges the creative potential of students, and what opportunities it offers in landscape architecture practices are revealed. It draws attention to the fact that the speed and diversity provided by AI technologies encourage the designer to think in new ways. In addition, it emphasises that the designer should be careful in areas such as originality, ethics and professional identity.

References

Akyıldız, E. C. (2020). Bir öğrenme Ortami olarak Tasarim Stüdyosu: Maltepe üniversitesi Tasarim Stüdyosu 1 Deneyimi. Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 10(4), 389-407. https://doi.org/10.7456/11004100/005

Albayrak, E., & Kılıç, E. (2025). Grafik Tasarım Eğitiminde Yapay Zekâ: Fırsatlar ve Zorluklar Bağlamında Akademisyen Görüşlerinin İncelenmesi. Sanat ve İkonografi Dergisi, (8), 8-13. https://doi.org/10.62425/sidd.1630934

Chiu, T. K. (2023). The impact of Generative AI (GenAI) on practices, policies and research direction in education: A case of ChatGPT and Midjourney. *Interactive Learning Environments*, *32*(10), 6187-6203. https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2253861

Ning, J., Gao, Y., & Luo, M. (2024, January). Application Research of Generative Artificial Intelligence Technology in the Design and Art Course Teaching. In *2024 International Conference on Informatics Education and Computer Technology Applications (IECA)* (pp. 165-169). IEEE.

Mance, D. (2025). Architectural practice in the Digital Age: Balancing Adoption and Adaptation. In: Barosio, M., Vigliocco, E., Gomes, S. (eds) School of Architecture(s) - *New Frontiers of Architectural Education.* EAAE AC 2023. Springer Series in Design and Innovation , vol 47. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-71959-2_38

Iranmanesh, A., & Lotfabadi, P. (2024). Critical questions on the emergence of text-to-image artificial intelligence in architectural design pedagogy. *AI & SOCIETY*, 1-15. https://doi.org/10.1007/s00146-024-02111-x

Kim, J., Yu, S., Detrick, R., & Li, N. (2025). Exploring students' perspectives on generative AI-assisted academic writing. Education and Information Technologies, 30(1), 1265-1300. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12878-7

Lund, B. D., & Wang, T. (2023). Chatting about ChatGPT: how may AI and GPT impact academia and libraries?. Library hi tech news, 40(3), 26-29. https://doi.org/10.1108/LHTN-01-2023-0009

Ray, P. P. (2023). ChatGPT: A comprehensive review on background, applications, key challenges, bias, ethics, limitations and future scope. Internet of Things and Cyber-Physical Systems, 3, 121-154. https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.003.

PANDEMİK ZORLUKLAR VE KENTSEL AÇIK MEKAN KULLANIMI

Aysel YAVUZ
Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
Assist. Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
ayavuz75@homail.com, 05335189052
ORCID ID: 0000-0001-9425-2054

Nilgün GÜNEROĞLU
Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
nayhan@ktu.edu.tr, 05362383905
ORCID ID: 0000-0002-0825-0405

Habibe ACAR
Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Trabzon, Turkey
Prof. Dr., Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture
habibe@ktu.edu.tr, 05336394265
ORCID ID: 0000-0002-8682-0522

Özet

İnsan yaşamı, bireylerin birbiriyle olan karşılıklı etkileşimleri sayesinde sürdürülür. Bu etkileşimlerin gerçekleştiği temel alanlardan biri, kentsel açık mekanlardır. Kentsel açık mekanlar, fiziksel, psikolojik ve sosyal açıdan bireylere çok yönlü faydalar sunar. Tarihsel süreçte olduğu gibi günümüzde de bu mekanlar, toplumsal yaşamın önemli bir bileşeni olarak değerini korumaktadır. Ancak, geçmişte ve yakın dönemde ortaya çıkan salgın hastalıklar, bu mekanların kullanım biçimlerini dönüştürmüştür. Aralık 2019'da Çin'in Wuhan eyaletinde başlayan ve kısa sürede küresel bir salgına dönüşen Covid-19 pandemisi, bu dönüşümün en güncel örneklerinden birini oluşturur. Dünya Sağlık Örgütü tarafından pandemi olarak ilan edilen bu salgın, dünya genelinde bireylerin günlük yaşam pratiklerini köklü bir şekilde etkilemiş ve kentsel açık mekanların kullanımında belirgin değişikliklere yol açmıştır. Pandemi sürecinde, bir grup insan kentsel açık mekanları yalnızca temel ihtiyaçlarını karşılamak için kullanırken, diğer bir grup ise pandemi öncesi alışkanlıklarını sürdürmeye devam etmiştir. Salgının yayılımını kontrol altına almak amacıyla hükümetler tarafından uygulanan kısıtlamalar, bireylerin kentsel açık mekanlara erişimini ve bu alanlardaki faaliyetlerini önemli ölçüde sınırlamıştır. Bu süreçte, insanlar bulaşma riskini azaltmak için kalabalık olmayan ve açık havada bulunan mekanlara yönelmiştir. Bu yönelim kentsel açık mekanların kullanım biçimlerinde yeni bir dönüşümü beraberinde getirmiştir. Kentsel açık mekanların pandemi döneminde kısıtlı kullanımı, bu alanların toplumsal ve bireysel yaşamdaki kritik rolünü bir kez daha vurgulamıştır. Bu çalışma, Covid-19 pandemisinin kentsel açık mekanların kullanımı üzerindeki etkilerini inceleyerek, bu mekanların toplumsal önemine dair farkındalık yaratmayı ve gelecekteki pandemik krizlere karşı daha hazırlıklı olunmasını sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Açık Alanlar, Covid-19, Sosyal Mesafe, Kentsel Dirençlilik

PANDEMIC CHALLENGES AND THE USE OF URBAN OPEN SPACE

Abstract

Human life is sustained through the mutual interactions of individuals with each other. One of the main areas where these interactions take place is urban open spaces. Urban open spaces offer multifaceted physical, psychological and social benefits to individuals. These places maintain their value as an important component of social life today, as they have been in the historical process. However, past and recent epidemics have transformed the way these spaces are used. The Covid-19 pandemic, which started in Wuhan province of China in December 2019 and turned into a global outbreak in a short time, constitutes one of the most recent examples of this transformation. This pandemic, declared as a pandemic by the World Health Organization, has radically affected the daily life practices of individuals around the world and led to significant changes in the use of urban open spaces. During the pandemic, while one group of people used urban open spaces only to meet their basic needs, another group continued to maintain their pre-pandemic habits. Restrictions imposed by governments to contain the spread of the pandemic have significantly limited individuals' access to and activities in urban open spaces. In this process, people have turned to uncrowded and open-air spaces to reduce the risk of contamination. This orientation has brought about a new transformation in the way urban open spaces are used. The limited use of urban open spaces during the pandemic once again emphasized the critical role of these spaces in social and individual life. By analysing the effects of the Covid-19 pandemic on the use of urban open spaces, this study aims to raise awareness of the social importance of these spaces and to ensure better preparedness against future pandemic crises.

Keywords: Urban Open Spaces, Covid-19, Social Distancing, Urban Resilience

1. Introduction

The COVID-19 pandemic is a devastating pandemic that has caused radical changes in individuals' daily habits, challenging their subjective well-being (Blasco-Belled, 2020). The pandemic has severely limited individuals' access to the outdoors, especially in densely populated cities that lack sufficient open space (Lopez et all., 2021). This has shown that open green spaces are not a luxury, but a fundamental right for everyone and part of the health infrastructure. The pandemic has made visible not only the health crisis, but also the concurrent crises of climate crisis, food security and psychological vulnerability. However, COVID-19 has also exposed the fragile nature of urban life, making it imperative to reassess the role of open spaces in urban health. This is because COVID-19 has had a profound impact on the physical spaces of cities, affecting urban life and spatial practices. During the pandemic, people tended to avoid lockdowns and crowded indoor spaces, and turned to nearby open and green spaces. This situation has made the inadequacy of open spaces in cities visible and made access to public open spaces and spatial justice an important topic of discussion in urban planning.

During the pandemic period, the increasing need of individuals living in densely populated cities for contact with nature has transformed the landscape from a purely aesthetic element into a vital value for social, environmental and psychological well-being. As Scheiber (2022) points out, the need to not only mitigate or adapt to climate change, but also strive for resilience in

urban planning and management is becoming increasingly prominent. This is why the COVID 19 process has clearly demonstrated the importance of planning for urban resilience. Chen & Li (2024) emphasize that many dimensions of urban resilience, such as social, environmental and health systems, need to be revisited as pandemics reveal weaknesses in cities. Urban resilience is defined as the ability of the urban structure and its inhabitants to maintain normal functioning and adapt in the face of shocks. A resilient city is defined as a city that can withstand future pressures at the social, economic, technological and infrastructural levels (Chen & Li, 2024). As disasters, health and infectious diseases become part of urban planning, the landscape of the 21st century can thrive (Spencer et al., 2020). Being a resilient city is not just about managing climate-related risks, but also being prepared for every possible threat that could impact cities and grow exponentially.

The COVID-19 pandemic has resulted in the publication of numerous articles in various fields. It is among the most analyzed topics from both global and local perspectives, investigating its spatial and temporal distribution (Agnoletti et all., 2020). For all these reasons, the importance, use and design principles of public open spaces have been re-questioned with many studies. This has led to a more strategic and inclusive approach to landscape-based urbanism in urban planning. In this context, the role of landscape areas in planning for the future of cities is being redefined and they are coming to the fore as a strategic planning tool. Especially in this process, parks, squares, coastlines and green corridors are seen not only as recreational areas but also as essential elements for health, socialization and psychological health. In this context, our study aims to evaluate the transformation of public open spaces within the framework of urban design discipline after the pandemic.

2. Open Space and Neighborhood-Oriented Open Spaces

Although the concept of open space is often used to refer to the green areas of the city, according to Heckscher, open space includes not only green spaces and water, but also artificial spaces such as squares and roads. Similarly, Shirvani states that open space includes all green landscapes, hardscapes, parking lots and recreation areas in the city. Functionally, urban open spaces serve social, structural, economic and ecological purposes (Idawati et al., 2021). Trees, in particular, shape the urban fabric, define large open spaces and create important areas for recreation in dense cities. Trees are a key component of green infrastructure in cities, enabling the development of many green spaces around them. They also play an important role in natural therapies to reduce urban stress and improve mild mental disorders. Urban forests and trees are therefore essential elements in sustainable and climate-smart urban planning (Haase, 2021).

Modern approaches such as landscape urbanism and ecological urbanism show that prioritizing nature is important for improving urban quality of life. The most important element in this field is urban green spaces (Ugolini et al., 2020). Instead of large, monolithic parks, easily accessible neighborhood-scale micro-landscapes and green connectivity networks are now preferred. This approach allows green spaces within the city to function holistically with each other, integrating both ecological and social functions.

Recently, there has been a growing interest and research on the contribution of urban green spaces to quality of life. They improve air quality, provide recreational opportunities, and enhance both the livability of neighborhoods and the aesthetic value of cities (Huerta and Utomo, 2021). Green space standards in the world according to population size are above Turkey's. The United Nations states that the amount of green space per capita should be 30 m²,

the European Union 26 m², and the USA 18 m². The World Health Organization, on the other hand, sets the minimum amount of green space in cities as 9 m², but states that the optimum amount of green space should be 50 m² per person. In terms of the access impact area to open green spaces, the European Environment Agency envisages an access distance of approximately 1000 m, while the UK Nature Agency emphasizes a maximum access distance of 300 m (Özgeriş, 2023).

Outdoor recreation plays an important role as a coping mechanism during times of crisis or disaster (Rice et al., 2020). These spaces not only provide short-term relief in times of crisis, but can also offer significant long-term preventive health benefits. However, achieving these benefits depends on people having adequate access to urban open spaces, being able to meet their needs from these spaces and feeling safe there. In a study supporting this view, Idawati et al. (2021) found that Blang Padang Square met general expectations before COVID-19, but experienced some restrictions during exhibitions, concerts and religious events. During COVID-19, it was observed that these open spaces functioned effectively with measures such as the implementation of hygiene measures, limiting access to control visitors, and placing appropriate signage at strategic points (Idawati et al., 2021).

According to Huerta & Utomo (2021), urban green spaces play an important role in improving the mood of individuals by reducing stress and fatigue. While large green spaces facilitate social distancing, small spaces are especially valuable for children, the elderly and those with mobility limitations (Geary et al., 2021). However, research shows that in many areas there is not enough green space within 300 meters (Martins, 2022). To improve quality of life and ensure environmental justice, green spaces need to be increased in a way that guarantees access, especially for vulnerable groups. Urban green spaces thus offer a better quality of life by promoting social cohesion and encouraging physical activity, improving health and mental well-being (Ugolini et al., 2020).

2.1. Increase in the Need for Open Space During the Pandemic and the Strategic Role of Landscape

Urban open spaces are indispensable components of the built urban environment and carry a wide range of functions and values. These areas facilitate coexistence in the city by supporting the harmony between human and nature and provide physical spaces for recreation and outdoor activities. They also play an important role in protecting the physical and mental health of urban residents, protecting the natural environment and ecological resources, and promoting sustainable urban development (Song et al., 2024). Open spaces such as parks, squares and water features are essential elements of urban ecosystems. These areas contribute to the formation of healthy communities and the construction of a sustainable urban life through the cultural and social benefits they offer (Lopez et al., 2021; Huerta & Utomo, 2021; Wang et al., 2021; Wang et al., 2025).

When COVID-19 became a global pandemic, many countries imposed quarantines to protect their citizens. In the process, urban open spaces emptied, cities calmed down and everyone stayed at home to watch the world through their windows. Outdoor physical activities were banned (Idawati et al., 2021). However, during and after the lockdown period, outdoor spaces became more important and attractive for all age groups than before the pandemic (Haase, 2021). The COVID-19 pandemic has revealed that urban open spaces are essential resources

for physical and mental health, increasing the value of recreation and exercise opportunities, especially in times of crisis (Rice et al., 2020; Ugolini et al., 2020; Wang et al., 2025).

With this pandemic, there has been an unexpected surge of interest in nature-based solutions in cities, especially urban forests and open green spaces. These spaces have become the only refuge for many people. Trees in parks and forests, as well as trees on the streets and small pocket parks, have attracted much more attention than before the pandemic.

Global urbanization, increasing population density and human-induced environmental problems have led to health problems worldwide. Inadequate health services in megacities have made it difficult to control global health crises. COVID-19 spread rapidly in late 2019, deeply affecting health systems and social, commercial and industrial activities (Hassan & Megahed, 2021).

For these reasons, the demand for recreational spaces has increased in many cities around the world during the COVID-19 pandemic (Venter et al., 2021). Urban open spaces play a critical role in improving the quality of life of urban residents by providing both health and environmental benefits (Li & Livy, 2025). In particular, urban parks are one of the key elements of livable and healthy cities. In the aftermath of the pandemic, the need to redesign open spaces as complementary to indoor spaces and as environments where active life can be sustained has emerged for the reconstruction of a healthy social life. The necessity of social distancing and the need for open air necessitated creative solutions to make urban spaces more functional; in this context, urban parks had to be reconsidered (Özdede et al., 2021). In Poland, for example, in the post-pandemic reconstruction process, European Union funds are being used to adapt the development of cities to the changing needs of residents, thereby creating new opportunities to improve quality of life. Such initiatives support cities to become more resilient to future pandemics (Majewska et al., 2022).

On the other hand, cultural and individual differences create diversity in the way people perceive and prefer urban green spaces. Understanding these differences is crucial to effectively deliver the benefits of these spaces to urban residents (Lopez et al., 2021). During the COVID-19 pandemic, the implementation of “Piazze Aperte” in Milan was a major turning point as a safe meeting point for residents. As part of the Milan Adaptation Strategy 2020, the city has developed new action plans, adopting a more inclusive, flexible and participatory vision with fast and effective interventions to improve quality of life. In response to the pandemic, the Municipality of Milan, with the Strade Aperteproject, closed 35 kilometers of road network to vehicular traffic and opened it to pedestrian and bicycle use, transforming existing streets into public green spaces, thus aiming to meet the need for open space at the neighborhood scale (Pelizzaro, 2021). However, research has shown that the lack of urban green space persists. For example, surveys conducted by Martins (2022) in five different settlements showed that the lack of green spaces within 300 meters supports previous studies. Green spaces need to be increased in these cities to improve quality of life, ensure environmental justice and facilitate access to green spaces, especially for vulnerable groups such as the elderly and children.

The data obtained during the pandemic period showed how important urban green spaces are for public health. These data can guide planners and decision-makers to ensure equal access to the outdoors while maintaining social distancing, promoting physical activity, and protecting and developing appropriately located green spaces. During COVID-19, the role of open spaces in reducing the risk of virus transmission has been better understood. This realization is an

important lesson for building cities that are more resilient to future pandemics (Geary et al., 2021).

2.2. Use of Public Open Spaces in Post-Pandemic Period

Restrictions imposed during the COVID-19 pandemic have led people to parks that are considered safer. In Bandung, Indonesia, Teras Cikapundung Park was one of the frequently visited areas during this period. In a study, the areas and activities preferred by visitors were examined. According to the results, the amphitheatre stood out as the most preferred landscape area. It was observed that activities such as morning exercises, group meetings, discussions, speeches and selfie-taking took place here. The research emphasises the importance of landscape design and new planning strategies in urban open spaces to improve people's quality of life (Natalia et al., 2025).

Research shows that recreational activities in urban green spaces and the cycling and walking paths that support them are important for people's physical and mental health during pandemic periods (Venter et al., 2021). According to the study by Ugolini et al. (2021) the value of urban forests and trees for city dwellers has increased even more in this process. Lockdowns during the COVID-19 period, on the other hand, distanced people from outdoor activities, social gatherings and interaction with nature (Ugolini et al., 2021).

The research findings of Wang et al. (2025) show that the COVID-19 pandemic has led to significant changes in visitors' preferences and behaviours. Prior to the pandemic, the mountains and city parks in Lanzhou were the main tourist attractions in the city due to their natural beauty and proximity to the city centre. However, the strict quarantine measures implemented during the pandemic led to a decrease in visits to these green open spaces. Although interest in these areas has increased again after the pandemic, the number of visitors has still not reached pre-pandemic levels. This situation reveals that the pandemic has left lasting effects on travel habits.

Hassan & Megahed (2021) revealed that the COVID-19 pandemic has brought the importance of urban public spaces back to the agenda, which has an impact on current and future urban design research. According to the researchers, planners have a significant opportunity to build more resilient, inclusive and equitable urban communities by developing effective strategies for outdoor spaces to improve the quality of life of urban residents. These strategies can also play a critical role in preventing urban inequalities.

Lehberger et al. (2021) found that life satisfaction levels were generally lower during the pandemic period compared to the pre-pandemic period, and that this decline affected different segments of society in different ways. In line with these findings, it is of great importance to evaluate mechanisms that will protect and improve the well-being of individuals during a health crisis and contribute to the development of resilience (Huerta & Utomo, 2021).

3. Post-Pandemic Transformation Trends in Public Open Spaces

The COVID-19 pandemic has exposed the weaknesses of many urban planning models, including the Smart City concept. Increasing socio-economic problems during the pandemic have necessitated the implementation of strict health protocols in cities and the reorganisation of existing economic priorities. Measures such as quarantine practices, social distancing rules and curfews have made the need for urban residents to be close to the most basic services critical. Despite the availability of advanced Smart City technologies, many urban dwellers

have faced severe economic and social challenges due to lack of access to basic needs. This situation reveals that in the future, cities need to be structured in a way that facilitates access to basic services and supports individual modes of transport such as bicycles and pedestrians without interrupting human interaction. The pandemic has also shown that the technological aspects of Smart City models are not sufficiently integrated with social interaction. Although many software and data analytics applications have been effective in urban data collection and analysis, these developments have not had a direct positive impact on social relations. However, social interaction plays an important role in overcoming psychological and social problems that arise especially during the pandemic period. Therefore, strengthening social ties and increasing community solidarity should be one of the priority goals in urban planning (Moreno et al., 2021).

According to the Spatial Plans Construction Regulation of the Zoning Law No. 3194, the per capita green space standard in Turkey is set at 10 m². However, the 'new normal' conditions emerging after the COVID-19 pandemic have brought new planning approaches to urban areas in line with social distancing requirements and the promotion of individual mobility. In particular, supporting individual, environmentally friendly modes of transport such as walking and cycling has further increased the need for accessible and widespread green spaces. In this framework, the amount of green space per capita has been re-evaluated according to new criteria in order to design fair, sustainable and livable cities that take into account public health. In the research conducted by Özdede et al. (2021), it was determined that at least 54 m² of open and green space per capita is needed in cities in the post-pandemic period. These findings show that the 10 m²/person standard specified in the current regulation is insufficient, especially in terms of the goal of creating healthy urban environments with high quality of life. Therefore, it is necessary to review and update the urban open and green space standards.

In summary, it is observed that the relationships established with nature during the pandemic process are effective in terms of psychological well-being as well as physical health. This situation brings the adoption of biophilic design principles more widely in urban landscape applications back to the agenda. These approaches, which emphasise elements such as plant diversity, natural light and water elements, offer both aesthetic and healthy spatial experiences.

3.1. Contact with Nature and Biophilic Spaces

With the pandemic process, close contact with nature come to the fore again as an important element in reducing stress. In this context, natural vegetation, wild nature elements, ecological corridors and urban agriculture areas within the city constitute the basic components of the biophilic design approach. This design approach not only contributes positively to human psychology, but also serves ecological sustainability. One of the projects that can be shown as an example of this approach is the Bosco Verticale (Vertical Forest) residential complex realised by architect Stefano Boeri in Milan. Built in 2014, the two towers feature more than 90 different species of plants, trees and shrubs on the facades (BNP Media, 2025). More than just a residential building, the project is considered as a symbol of biodiversity and the product of a visionary approach that encourages living in nature in cities. After the pandemic, it is seen that such projects are effective in increasing the interest of city dwellers in living spaces integrated with nature. Bosco Verticale also draws attention as an innovative model that responds to both the need for housing and green infrastructure solutions in the city centre. One of Stefano Boeri's other important initiatives in this direction is the so-called Tirana 2030 project. This comprehensive intervention aims to redefine Tirana, the capital of Albania, as a more

sustainable and resilient metropolis. The master plan for 12,000 inhabitants on a publicly owned site near the Tirana River was developed taking into account both post-COVID-19 urbanisation needs and sustainability principles to tackle the climate crisis (Ağacın izinde, 2025). The project is considered one of the most far-reaching national and regional urban reform initiatives of the last 25 years.



Figure1. Stefano Boeri projects a) Bosco Verticale (Italy, Milan) b) Tirana Riverside Albania (Ağacın izinde, 2025).

A growing body of research shows that contact with nature has positive effects on both physical and mental health. Interaction with nature reduces health problems such as anxiety, stress, depression, diabetes and obesity, while enhancing immune system function, happiness, mental development and social relationships. Time spent in the natural environment and the connection with the landscape play a central role in the identity formation of individuals, especially in indigenous communities (Nowak-Olejnik et al., 2022).

In the study, it is seen that biophilic design elements are included in urban recreation environments where areas are designed in accordance with physical distance standards and where spatial proximity is taken into account (Rice et all., 2020). After the pandemic, the desire of urbanites to have a closer relationship with nature continued. Biophilic design approach produces both aesthetic and healing spaces with the intensive use of vegetation, water elements and natural materials.

Therefore, the human need to reconnect with nature is considered one of the most urgent issues of our time. Especially during the COVID-19 pandemic, a large number of urban dwellers have faced severe restrictions on access to gardens, parks or rural areas. This situation has increased the importance and value of trends towards integrating nature into buildings. In recent years, both in academic literature and in architectural practice, there has been a marked increase in interest in people's efforts to protect the natural environment and in the design of spaces where people can interact with nature. Solutions such as green facades, green roofs and vertical gardens are becoming increasingly common in order to support a sustainable lifestyle (Zhong et al., 2022). At the same time, this increasing interest in nature and natural areas directly affects individuals' housing preferences (Yavuz et al., 2025).

3.2. Multi-Purpose and Flexible Usage Practices

The pandemic process also necessitated the flexible design of the same space to meet different needs. In other words, the pandemic encouraged the versatile use of spaces and showed that parks should function not only as recreation but also as areas of work, education, sports and cultural interaction. In this direction, the flexible design approach became decisive in new landscape projects. It led to the production of flexible spaces such as open classrooms, mobile offices, open air galleries instead of the classical park concept.

In Brooklyn Domino Park, an effective example of how public space can be re-functionalised and managed in an interventionist yet creative way is seen with circular seating areas drawn on the grass to maintain social distance during the pandemic (Figure 2). In the post-pandemic period, public spaces are redesigned to serve multiple functions such as work, education, cultural production or health, not just recreation.



Figure 2. Domino Park Social Distancing Circles, (New York, ABD) (Harrouk, 2020)

In order to increase resilience to future crises, it is proposed to support recreational activities in the context of cultural ecosystem services. One such strategy is to temporarily pedestrianise some roads and turn them into pedestrian corridors, such as in Denver and Oakland, USA (González, 2020). This practice aims to reduce the pressure on heavily used pedestrian roads while directing individuals to outdoor recreational activities such as cycling, running and walking where they can maintain physical distance. Another strategy implemented during the pandemic is the capacity reduction policy implemented in state parks in Connecticut, USA. Similarly, timed entry systems have been introduced in Rocky Mountain National Park to balance visitor density. Such practices aimed to encourage the maintenance of physical distance while at the same time limiting the overuse of parks by non-local users (Rice et al., 2020).

3.3. Spatial Accessibility and Neighborhood-Oriented Planning

The COVID-19 crisis has developed an urban form in which every individual can access their daily needs on foot. This model encouraged the development of new design principles on the homogeneous distribution and local use of public open spaces. In 2016, the concept of the 15-minute city, proposed by Carlos Moreno, returned to the agenda. The pandemic increased the importance of planning approaches based on spatial proximity.

This new perspective contributes both to the vision of smart cities and to Christopher Alexander's concept of creating more humane urban textures. It is also in line with the United

Nations' Sustainable Development Goal 11 of building safer, sustainable, resilient and inclusive cities (Moreno et all., 2021). Settlement areas around large urban centres move beyond being merely residential areas. These areas are shaped as multi-centre urban networks with a strong economic structure, accessible within distances of 15 to 30 minutes. These settlements offer a user-friendly and liveable urban structure by providing pedestrian access to commercial areas, green spaces and other basic services. (Majewska et all., 2022). A similar practice is the 'super blocks' project in Barcelona. In this model, vehicle traffic is reorganised in areas covering more than one block. In addition, approximately 70 per cent of the street surface is planned to be reserved for public use. In this way, it is aimed to create more livable and human-oriented urban areas (Sayra, 2022). This model transformed the inner streets into pedestrian-prioritised, planted public spaces by moving motorised traffic to the outer peripheries and transforming them into pandemic-compatible, healthy living spaces (Figure 3).

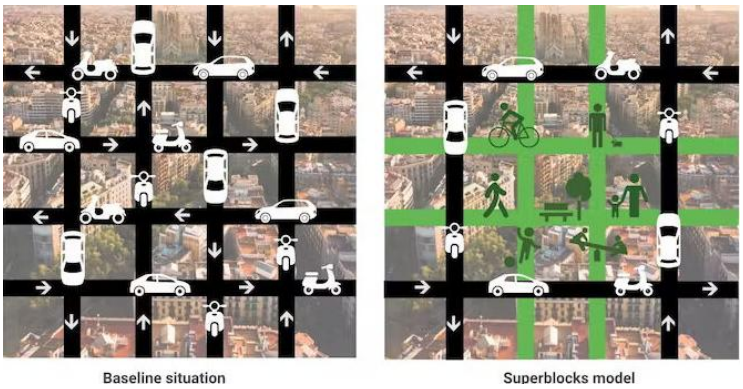


Figure 3. Superblocks (Barcelona, Spain) (Sayra, 2022)

4. Conclusios

The pandemic provided an opportunity to rethink the urban landscape, integrating landscape-based planning with multifaceted goals, not only ecological but also social equity, mental health, accessibility and crisis management. In the post-pandemic era, landscape-based urbanism redefined and strengthened in terms of environmental sustainability as well as spatial justice and resilience. This process proved that landscape is not only a supporting element but also a strategic building block in the future of cities. In the post-pandemic period, urban public open spaces repositioned as a central component of urban design. Today, public open green spaces are considered not only as spaces, but also as health infrastructure, grounds for social integration and carriers of resilient urban models. In this process, the task of urban designers is to produce public spaces that are user-oriented, inclusive, flexible and in harmony with nature. In the cities of the future, landscape should no longer be considered a complement, but the backbone of the urban system. Whether through neighborhood parks at the micro level or integrated green infrastructures at the macro level, landscape will be one of the main tools shaping the cities of the future.

References

Ağacın izinde, (2025). Biyoçeşitlilik odaklı geleceğin mimarisi, Accessed date: 01.06.2025. https://www.agacinizinde.com/portre/stefano-boeri

Agnoletti, M., Manganelli, S., & Piras, F. (2020). Covid-19 and rural landscape: The case of Italy. Landscape and urban planning, 204, 103955. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103955.

Blasco-Belled, A., Tejada-Gallardo, C., Torrelles-Nadal, C., & Alsinet, C. (2020). The costs of the COVID-19 on subjective well-being: An analysis of the outbreak in Spain. Sustainability, 12(15), 6243. https://doi.org/10.3390/su12156243

BNP media, (20 May, 2025). Celebrating the Legacy and Growth of Milan's Bosco Verticale, accessed date:04.06.2025. https://www.architecturalrecord.com/articles/17525-celebrating-the-legacy-and-growth-of-milans-bosco-verticale

Chen, T. L., & Li, Y. E. (2024). Building urban resilience: Lessons from the COVID-19 pandemic for future-proofing city infrastructure. Journal of Urban Management. https://doi.org/10.1016/j.jum.2024.11.016

Geary, R. S., Wheeler, B., Lovell, R., Jepson, R., Hunter, R., & Rodgers, S. (2021). A call to action: Improving urban green spaces to reduce health inequalities exacerbated by COVID-19. Preventive medicine, 145, 106425. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2021.106425.

González J. (2020) Park Closures Have Unequal Costs: As We Limit Outdoor Access, Consider the Impact on Underrepresented Communities. High Country News. https://www.hcn.org/articles/covid19-park-closures-have-unequal-costs.

Haase, D. (2021). COVID-19 pandemic observations as a trigger to reflect on urban forestry in European cities under climate change: Introducing nature-society-based solutions. Urban Forestry & Urban Greening, 64, 127304. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127304.

Harrouk, C. (25 May, 2020). Domino Park Introduces Social Distancing Circles to Adapt to the COVID-19 Crisis. https://www.archdaily.com/940244/domino-park-introduces-social-distancing-circles-to-adapt-to-the-covid-19-crisis

Hassan, A. M., & Megahed, N. A. (2021). COVID-19 and urban spaces: A new integrated CFD approach for public health opportunities. Building and Environment, 204, 108131. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108131

Huerta, C. M., & Utomo, A. (2021). Evaluating the association between urban green spaces and subjective well-being in Mexico city during the COVID-19 pandemic. Health & place, 70, 102606. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2021.102606.

Idawati, D. E., Maisari, L., & Alidha, S. Y. (2021). Redefining the role of green open space through the challenge of COVID-19 (case study: Blang padang, banda aceh). IOP Conference Series.Earth and Environmental Science, 881(1) https://doi.org/10.1088/1755-1315/881/1/012064

Lehberger, M., Kleih, A. K., & Sparke, K. (2021). Self-reported well-being and the importance of green spaces–A comparison of garden owners and non-garden owners in times of COVID-19. Landscape and Urban Planning, 212, 104108. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104108

Li, L., & Livy, M. R. (2025). Who values urban open spaces? investigating heterogeneity in the capitalization of open space in New York city. Landscape and Urban Planning, 255, 105259. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105259.

Lopez B, Kennedy C, Field C et al., (2021). Who benefits from urban green spaces during times of crisis? Perception and use of urban green spaces in New York City during the COVID-19 pandemic. Urban Forestry & Urban Greening, 65: 127354. doi: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127354

Majewska, A., Denis, M., Jarecka-Bidzińska, E., Jaroszewicz, J., & Krupowicz, W. (2022). Pandemic resilient cities: Possibilities of repairing Polish towns and cities during COVID-19 pandemic. Land Use Policy, 113, 105904. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105904

Martins, B. (2022). Where to construct new urban green spaces to be at the recommended distance from users and to complement existing ones? A study in five cities of northern Portugal. Urban Forestry & Urban Greening, 72, 127571. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127571

Moreno, C., Allam, Z., Chabaud, D., Gall, C., & Pratlong, F. (2021). Introducing the "15-Minute City": Sustainability, resilience and place identity in future post-pandemic cities. Smart cities, 4(1), 93-111. https://doi.org/10.3390/smartcities4010006

Natalia, T. W., Khoerunissa, I. H., Tantarto, D. D., & Aditya, N. C. (2025). Preferences of landscape elements in Teras Cikapundung park in the COVID-19 pandemic. In AIP Conference Proceedings (Vol. 3200, No. 1). AIP Publishing.

Nowak-Olejnik A, Schirpke U, Tappeiner U, (2022). A systematic review on subjective well-being benefits associated with cultural ecosystem services. Ecosystem Services, 57: 101467. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101467

Özdede, S., Kalonya, D. H., & Aygün, A. (2021). Pandemi sonrası dönemde kişi başına düşen kentsel yeşil alan ihtiyacını yeniden düşünmek. İdealkent,(COVID-19 Sonrası Kentsel Kamusal Mekânların Dönüşümü), 362-388.Özgeriş, M. (2023). Aktif yeşil alanların niceliksel ve niteliksel analizi: Erzurum Adnan Menderes Mahallesi örneği. JENAS Journal of Environmental and Natural Studies, 5(1), 68-84. https://doi.org/10.53472/jenas.1250924

Pelizzaro, P. (6 August, 2021). Milan at MCR2030: Transforming streets with tactical urbanism. https://www.preventionweb.net/drr-community-voices/milan-mcr2030-transforming-streets-tactical-urbanism

Rice W L, Mateer T J, Reigner N et al., (2020). Changes in recreational behaviors of outdoor enthusiasts during the COVID-19 pandemic: analysis across urban and rural communities. Journal of Urban Ecology, 6(1): juaa020. https://doi.org/10.1093/jue/juaa020

Sayra, N. (16 August, 2022). Barcelona'nın Superblocks Projesi Los Angeles'a Taşınıyor. https://www.arkitera.com/haber/barcelonanin-superblocks-projesi-los-angelesa-tasiniyor/

Scheiber, S. (2022). Re-designing urban open spaces to act as green infrastructure - the case of Malta, Transportation Research Procedia, 60, 148-155, https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.020.

Song, P., Qiu, B., Li, M., Wang, Z., Zhang,J. (2024). Integrated evaluation of service efficacy of the urban open space system in Nanjing, China: A system structure perspective, Ecological Indicators, 166, 112561, https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112561.

Spencer, J. H., Finucane, M. L., Fox, J. M., Saksena, S., & Sultana, N. (2020). Emerging infectious disease, the household built environment characteristics, and urban planning: Evidence on avian influenza in Vietnam. Landscape and Urban Planning, 193, 103681. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103681.

Ugolini F, Massetti L, Calaza-Martinez P et al., (2020). Effects of the COVID-19 pandemic on the use and perceptions of urban green space: an international exploratory study. Urban Forestry & Urban Greening, 56: 126888. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126888

Ugolini, F., Massetti, L., Pearlmutter, D., & Sanesi, G. (2021). Usage of urban green space and related feelings of deprivation during the COVID-19 lockdown: Lessons learned from an Italian case study. Land use policy, 105, 105437. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105437

Wang Y L, van Roon M, Knight-Lenihan S, (2021). Opportunities and challenges in water sensitive industrial development: an Auckland case study, New Zealand. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 28(2): 143–156. https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1783717

Wang, Y., Zhang, Z., Li, F., Liu, D., & Zhang, Z. (2025). Spatiotemporal Dynamics of Urban Open Space Utilization Pre, During, and Post COVID-19 Pandemic: A Case Study of Lanzhou City, China. Chinese Geographical Science, 35(2), 262-278. https://doi.org/10.1007/s11769-025-1497-2

Venter, Z. S., Barton, D. N., Gundersen, V., Figari, H., & Nowell, M. S. (2021). Back to nature: Norwegians sustain increased recreational use of urban green space months after the COVID-19 outbreak. Landscape and urban planning, 214, 104175. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104175

Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. Frontiers of Architectural Research, 11(1), 114-141. https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006

Yavuz, A., Zülfikar, H. C., & Acar, H. (2025). The effect of the pandemic period on residence and residential environment preferences: The example of Istanbul. Megaron, 20(1). https://doi.org/10.14744/megaron.2025.27813

GELENEKSEL YERLEŞMELER VE BİYOFİLİK TASARIM

Elif Nur UCA
Ankara Üniversitesi
pm.elifnuruca@gmail.com - 0009-0007-5835-0125

Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN
Ankara Üniversitesi
eerdogan@ankara.edu.tr - 0000-0002-4193-629X

ÖZET

Küresel ölçekte artan kentleşme ve insanın neden olduğu çevre sorunları, doğadan kopuk yaşam alanlarının çoğalmasına neden olmuş, bu da bireylerin fiziksel ve psikolojik sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu doğrultuda, doğa ile yeniden bütünleşmeyi amaçlayan biyofilik tasarım yaklaşımı, özellikle peyzaj mimarlığında giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Biyofilik tasarım, bireylerin doğa ile iç içe olma gereksinimini karşılamayı hedefleyen; doğal ışık ve etkin su kullanımı, bitki örtüsünün mimari ile bütünleşmesi ve doğal havalandırmanın tasarım sürecinde belirleyici olması insan-mekân-doğa ilişkisini yeniden kurmaya çalışan bir yaklaşımdır. Diğer yandan, geleneksel yerleşmeler tarihsel süreç içinde doğa ile uyumlu yaşam alanları oluşturmuş, iklim koşulları, topografya ve yerel malzeme gibi unsurları dikkate alarak kendiliğinden sürdürülebilir mekânsal organizasyonların oluşumunu sağlamıştır. Bu bağlamda, doğa ile kurulan ilişkilerin mekânsal temsiliyetinin, yalnızca estetik değil aynı zamanda işlevsel ve ekolojik açılardan da değerlendirilmesi gerekmektedir. Geleneksel yerleşmelerin barındırdığı çevresel uyum pratikleri, doğa-kültür etkileşiminin sürekliliğini sağlayan özgün bir mekânsal örgütlenme sunmaktadır. Bu örüntüler, biyofilik tasarım ilkeleri ile örtüşen yapısal ve deneyimsel nitelikleri ile, çağdaş tasarım süreçleri açısından incelenmeye değer özgün referanslar olarak değerlendirilmektedir. Dolayısıyla, geleneksel bilgeliğin mekânsal karşılıkları bugün uygulamalarına ışık tutmaktadır. Bu çalışma, Anadolu coğrafyasındaki geleneksel yerleşmelerin mekânsal özelliklerini biyofilik tasarım ilkeleri bağlamında irdeleyerek, çağdaş peyzaj tasarımında kullanılabilecek potansiyel stratejileri ortaya konmasını amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan analizler ile, gölge alan yaratımı, su kaynaklarının mekâna entegre edilmesi, yerel bitkilerin kullanımı, görsel açıklık ve doğa ile görsel temas gibi etkileşim ve iletişim biyofilik ögelerin geleneksel yerleşmelerde yoğun biçimde yer aldığı saptanmıştır. Diğer yandan, geleneksek bilgeliğin hem ekolojik hem de işlevsel değer barındırdığını ortaya koymaktadır. Biyofilik tasarım ilkeleri ile geleneksel yerleşme örüntülerinin sentezlenmesi, peyzaj mimarlığında hem kültürel mirasa duyarlı hem de doğa ile uyumlu tasarım yaklaşımlarına katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: geleneksel yerleşmeler, biyofilik tasarım, doğa ile bütünleşme

1. GİRİŞ

Yerleşmeler tarih boyunca yalnızca barınma gereksinimini karşılayan fiziksel çevreler değil, aynı zamanda doğa ile bütünleşik bir yaşamın ifadesi olmuştur. Geleneksel yerleşmeler, doğaya zarar vermeden; uyum içinde doğa ile entegre yapılar inşa ederek insanlara yaşam çevreleri sunmaktadır. Özellikle Anadolu coğrafyasında gelişen geleneksel yerleşme dokuları, çevresel faktörlere duyarlı, iklime göre biçimlenmiş, yerel malzeme ve bilgi ile şekillenen mekânsal örgütlenmeler sergilemektedir. Bu yerleşmelerin mekânsal ve kültürel karakteri, güncel tasarım anlayışının yeniden doğa ile ilişki kurma arayışına önemli ipuçları sunmaktadır.

Son yıllarda küresel ölçekte artan çevresel sorunlar, kentleşmenin doğa üzerindeki baskısını artırmış, insan-doğa ilişkisini zayıflatmıştır. Bu bağlamda doğa ile yeniden bağ kurmayı amaçlayan tasarım yaklaşımları önem kazanmıştır. Biyofilik tasarım, insanın doğa ile olan içsel bağını mekâna yansıtarak hem psikolojik hem de fiziksel iyilik halini desteklemeyi amaçlayan bir doğa sever ve tasarım anlayışı yaklaşımdır. Doğal ışık, su, bitki örtüsü, doğal hava akışı ve manzara gibi öğelerin yapılı çevreye entegre edilmesi ile oluşturulan biyofilik mekânlar, kullanıcıların doğa ile temasını artırarak sağlıklı yaşam alanları üretmeyi hedeflemektedir.

Geleneksel yerleşmelerin tasarım ilkeleri ve biçimsel özellikleri, biyofilik tasarımın temel ilkeleri ile eşdeğerdir. Gölge alanların oluşturulması, su kaynaklarının yerleşmeler ile ilişkilendirilmesi, doğal hava sirkülasyonunun sağlanması ve yerel bitki örtüsünün peyzaj tasarımında kullanımı gibi unsurlar, geçmişte sürdürülebilirlik kavramı olmadan da doğa ile uyumlu mekânlar üretildiğini göstermektedir. Bu bağlamda, geleneksel yerleşme örüntülerinin yalnızca kültürel bir miras değil, aynı zamanda güncel tasarım problemleri için doğrudan bir referans kaynağı olarak işlev göstermektedir.

Peyzaj mimarlığı disiplini, doğa-kültür ilişkisini mekâna aktarma gücüne sahip bir tasarım alanı olarak, biyofilik yaklaşımı hem işlevsel hem de estetik boyutları ile uygulamaya elverişlidir. Geleneksel yerleşmelerin doğal sistemler ile kurduğu ilişkiler, bu disiplin içinde biyofilik tasarım ilkeleri ile yeniden yorumlanabilmektedir. Özellikle kentsel açık alan tasarımlarında, geçmişin çevresel uyum ilkelerinden yararlanarak, daha sürdürülebilir ve insan odaklı çözümler geliştirilmesini mümkün kılmaktadır.

Bu çalışma, Anadolu'daki geleneksel yerleşmelerin mekânsal düzenlemelerini ve doğal çevre ile kurdukları etkileşimi biyofilik tasarım ilkeleri doğrultusunda analiz etmeyi amaçlamaktadır. Temel hedef, Geleneksel bilgelikten yola çıkarak güncel mimarlık ve peyzaj mimarlığı pratiklerine katkı sunabilecek ilkeleri ortaya konmasıdır. Böylece hem doğa ile uyumlu yaşam alanlarının oluşturulması hem de yerel kimliğin korunarak gelecek kuşaklara aktarılması yönünde çok katmanlı bir tasarım anlayışının gelişmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

2. GELENEKSEL YERLEŞMELER

Geleneksel yerleşmeler, tarih boyunca farklı coğrafyalarda gelişmiş, yerel halkın çevresi ile kurduğu ilişkileri mekânsal olarak yansıtan özgün yaşam alanlarını içeren kentsel dokulardır.

Bu yerleşmeler, çevresel koşullara uyum sağlamayı temel alan planlama karar ve tasarım yaklaşımları doğrultusunda, doğa ile uyumlu, entegre bir yaşam biçimini benimsemektedir. Coğrafya, iklim, su kaynakları, topografya ve bitki örtüsü gibi doğal unsurlar, yerleşmelerin yönlenmesinden yapı malzemelerine kadar birçok ölçekte belirleyici olmuştur. Bu anlamda geleneksel yerleşmeler, yalnızca kültürel miras olarak değil, aynı zamanda çağdaş yaşam çevrelerinin oluşumunda birer doğa-temelli tasarım rehberi olarak değerlendirilmelidir.

Geleneksel yerleşmelerin ilk şekillendiği alanlar çoğunlukla suya yakın, tarım yapılabilen ve doğal afetlerden korunaklı bölgeler olmuştur. Bu yer seçim kararları, yerleşmenin sürdürülebilirliğini sağlamasında yaşamsal öneme sahiptir. Örneğin; geleneksel bir yerleşme dokusunda sahip olan Beypazarı hem tarım arazilerine yakınlığı hem de vadi boyunca şekillenen topografik yapısı ile dikkat çeker. Yer seçiminde yalnızca ekonomik değil, ekolojik etkenler de göz önünde bulundurulmuştur. Bu tür bir yaklaşım, bugünün planlama pratiğinde yeniden gözden geçirilmesi gereken önemli bir bilgeliği temsil etmektedir.

Geleneksel yerleşmelerin birçoğu eğimli araziler üzerinde gelişim göstermektedir. Yapılar, arka arkaya sıralanarak birbirinin manzarasını kapatmamasını sağlarken, yağmur sularının doğal akışına da müdahale etmeyen bir kademelenme yaratır. Bu durum özellikle Safranbolu, Mardin ve Antakya gibi yerleşmelerde açıkça görülmektedir. Ayrıca, sokakların eğime paralel veya dik olarak konumlanması da hem ulaşımı kolaylaştırmakta hem de hava akışını doğal biçimde yönlendirmektedir.

İklim koşulları, geleneksel yerleşmelerin planlamasında en belirleyici unsurlar arasında yer almaktadır. Örneğin, sıcak ve kurak iklim kuşağında yer alan Harran yerleşmesinde, yapılarda kullanılan konik kubbeli form, sıcak havanın yükselerek tahliye edilmesini sağlamakta ve yapıların doğal yolla serin kalmasına olanak tanımaktadır (Kuban, 1995; Yılmaz & Efe, 2000). Benzer şekilde, Ege ve Akdeniz bölgelerinde yer alan geleneksel köylerde sokakların dar ve gölge olması, kullanıcı konforunu artırmakta ve yaz aylarında ısı birikimini azaltmaktadır (Eyüce, 1983; Turan, 1990). Örneğin, Şirince ve Birgi gibi Ege yerleşmelerinde sokakların yönelimi güneşten kaçınacak biçimde planlanmış; cephelerde çıkmalar ve saçaklar kullanılarak gölge alanlar yaratılmıştır (Tuncer, 2002).

Ayrıca, Antakya'da olduğu gibi avlulu yapı düzeni, hem hava akımını düzenleyerek serinlik sağlamakta hem de mahremiyeti gözetmektedir (Birol, 2005). Soğuk iklim kuşaklarında yer alan yerleşmelerde ise farklı iklimsel stratejiler uygulanmaktadır. Örneğin, Safranbolu ve Taraklı gibi yerlerde yapılar birbirine yakın inşa edilerek rüzgâr etkisi azaltılmış, sokaklar kış güneşinden maksimum oranda yararlanacak şekilde güneye yönlendirilmiştir (Koca, 2006). Tüm bu örnekler, geleneksel yerleşmelerde iklime duyarlı tasarımın yalnızca yapı ölçeğinde değil, bütüncül yerleşme deseni içinde düşünüldüğünü ortaya koymaktadır. Günümüz peyzaj mimarlığı ve kentsel tasarımı açısından bu tür yerel bilgi birikimi, iklim krizi ile mücadelede yeniden değerlendirilmesi gereken önemli bir kaynaktır (Bonine, 1980; Rapoport, 1969).

Su, geleneksel yerleşmelerde yalnızca bir kaynak değil, aynı zamanda sosyal ve ekolojik bir tasarım öğesi olarak işlev görmektedir. Sokaklarından geçen küçük dere yatakları, konutların

avlularında bulunan sarnıçlar veya kamusal çeşmeler yalnızca suya erişimi değil, çevredeki sıcaklık kontrolünü de sağlamaktadır (Kuban, 1995; Birol, 2005). Bu unsurlar, yerleşmenin mikroklimasını iyileştirerek daha yaşanabilir bir açık alan deneyimi sunar (Yılmaz & Efe, 2000; Tuncer, 2002). Özellikle biyofilik tasarım ilkeleri ile kıyaslandığında, suyun duyusal ve psikolojik etkisinin geleneksel yapılarda çok önceden fark edilip uygulandığı görülmektedir (Kellert et al., 2008; Beatley, 2011).

Geleneksel yerleşmelerde doğa yalnızca çevrede değil, yapının içinde de yer almaktadır. Konutların avlularında, duvar diplerinde ya da sokak kenarlarında yetiştirilen bitkiler; gölge oluşturmaktadır ve ısıyı dengelemektedir. Ayrıca, sarmaşıklar ve asmalar yapı cephesine entegre edilerek hem ısı yalıtımı sağlamakta hem de doğa ile bütünleşik bir tasarım katmaktadır. Geleneksel yerleşmelerde bitkisel peyzaj tasarımı, bugünün dikey bahçe ve yeşil cephe tasarımlarının tarihsel öncülü olarak değerlendirilmektedir. Meyve ağaçları, sarmaşıklar ve çiçeklikler yalnızca estetik katkı sağlamakla kalmaz; aynı zamanda gölgeleme, ısı düzenleme ve rüzgâr kırma işlevi görür. Özellikle avlular ve iç bahçeler bu anlamda mikro ekosistemler gibi çalışarak, biyofilik bir çevre oluşturmaktadır.

Geleneksel yerleşmelerde sosyal yaşam açık alanlarla bütünleşmiştir. Meydanlar, avlular, sokaklar; sadece ulaşım değil, aynı zamanda sosyalleşme gibi etkinliklerin gerçekleştiği alanlardır. Bu alanların doğal unsurlarla iç içe olması, kullanıcıların çevre ile sürekli temas hâlinde olmasını sağlamaktadır.

Geleneksel yerleşmelerde sosyal yaşam, açık alanla ile organik ve işlevsel bir bütünlük içinde şekillenmiştir. Meydanlar, avlular ve sokaklar, sadece canlıların mekânsal dolaşımı için kullanılan geçiş alanları olmaktan öte, aynı zamanda toplumsal etkileşimin yoğunlaştığı, üretim faaliyetlerinin sürdürüldüğü ve çeşitli kültürel etkinliklerin gerçekleştirildiği çok boyutlu mekânlar olarak önem kazanmıştır. Bu alanların doğal unsurlar ile entegre tasarlanması, bireylerin ve toplulukların çevresel öğelerle doğrudan temasını sağlayarak, mekanla kurdukları bağın güçlenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, bitki örtüsü, su kaynakları ve topografik özelliklerin sosyal alanların kurgusuna entegrasyonu, kullanıcıların hem fiziksel hem de psikolojik konforunu artırmakta, açık alanların yaşam kalitesine katkı sağlamaktadır. Böylece geleneksel yerleşmelerde açık alanlar, sosyal ve ekolojik işlevlerinin yanı sıra, sürdürülebilir ve bütüncül bir yaşam ortamının temel bileşenleri olarak tanımlanmaktadır.

Her bölgeden önemli görülen ve bugüne olabildiğince özgün şekilde ulaşmış, yerleşme özelliklerini korumuş birer kent seçilmiştir;

Safranbolu (Karabük)

Karadeniz bölgesinde bulunan Safranbolu, UNESCO Dünya Mirası Listesi'nde yer alan ve Osmanlı dönemine ait kent planlamasının özgün örneklerinden biri olarak hem mimari hem de peyzaj tasarımı açısından biyofilik tasarım ilkeleri ile uyumlu özellikler sergilemektedir. Kentsel yerleşme dokusunun oluşumunda topografya, iklim koşulları, yönlenme, su kaynakları ve bitkilendirme unsurları belirleyici faktörler olmuştur. Safranbolu'nun vadiler ile çevrili

konumu, kentin güneşten ve hâkim rüzgârlardan optimal şekilde faydalanacak şekilde kurgulanmasına olanak sağlamaktadır; bu da biyofilik tasarımın çevresel verilere duyarlı yerleşme planlama ilkesini ortaya koymaktadır.

Safranbolu evleri, iklim verilerine uygun olarak tasarlanan mekânsal kurguları ile dikkat çekmektedir. Güneye bakan cepheler, kış aylarında düşük açılı güneş ışığından maksimum oranda faydayı sağlayacak şekilde planlanmış; yaz aylarında ise ahşap panjurlar, cumbalar ve geniş saçaklarla aşırı ısınma kontrol altına alınmıştır (Kuban, 1995; Eyüce, 1983). Bu sistem, biyofilik tasarımın doğal ışık yönetimi ve termal konfor sağlama prensiplerini başarı ile yansıtmaktadır (Gültekin, 2006; Kellert et al., 2008). Geniş pencerelerden iç mekâna giren gün ışığı, hem enerji tüketimini azaltmakta hem de kullanıcıların doğal ışıkla sürekli temasını sağlayarak biyofilik etkiyi güçlendirmektedir (Rapoport, 1969; Kellert et al., 2008).

Safranbolu evlerinde sıkça rastlanan iç avlular, yalnızca mahremiyet sağlayan açık mekânlar değil, aynı zamanda iklimsel dengeyi destekleyen mikroklimatik alanlar olarak işlev görmektedir. Avlularda yer alan su öğeleri ve havuzlar, buharlaşma yolu ile çevre sıcaklığını dengelemekte ve yaz aylarında serin bir mikroklima oluşturmaktadır. Aynı şekilde, avlularda kullanılan bitkisel tasarım öğeleri de bu mikroklimatik düzenlemeyi pekiştirir. Üzüm asmaları, nar ağaçları, incir ve meyve bahçeleri hem estetik zenginlik hem de besin kaynağı olarak işlev görürken; yaprak yüzeylerinden gerçekleşen evapotranspirasyon sayesinde çevredeki hava sıcaklığını düşürerek doğal serinleme sağlamaktadır. Bu özellikler, biyofilik tasarımın bitkisel gölgelendirme ve görsel doğa teması ilkeleri ile birebir örtüşmektedir.

Taş temellerin kullanımı, hem yapı stabilitesini artırmakta hem de ısı dengeleme işlevi görerek iç mekân sıcaklıklarının aşırı değişimini önlemektedir. Bu taş temellerin üzerindeki ahşap konstrüksiyonlar ise doğal havalandırmayı destekleyen geçirgen yapı özellikleri sayesinde, Safranbolu evlerinde yıl boyunca sağlıklı ve konforlu iç mekân koşulları sunmaktadır. Ahşap malzemenin nem dengeleyici ve doğal izolasyon sağlayıcı özellikleri, biyofilik tasarımın doğal malzeme kullanımı ve insan sağlığını destekleyen yapı kabuğu anlayışı ile örtüşmektedir.

Kentin sokak dokusu da biyofilik tasarım ilkelerini destekleyen önemli bir diğer unsurdur. Organik, dar ve kıvrımlı sokaklar, eğimli topografyaya uyumlu olarak gelişmiş; böylece hem suyun kontrollü akışını sağlamış hem de sokaklarda doğal hava sirkülasyonu ve gölge alanlar oluşturmuştur. Sokak yüzeylerinin taş döşemelerle kaplanması, yağışlı dönemlerde suyun yüzeyden emilerek yer altına süzülmesine katkıda bulunmakta ve böylece doğal su döngüsünü destekleyen sürdürülebilir bir drenaj sistemi oluşturmaktadır.

Bunun yanı sıra Safranbolu'nun tarımsal üretime dayalı bostan alanları, kentin yeşil omurgasını oluşturmuş ve kentsel ekosistemin sürekliliğine katkı sağlamıştır. Bu bostanlarda yetiştirilen sebze ve meyve türleri, kentin gıda ihtiyacını karşılamakla kalmamış, aynı zamanda biyolojik çeşitlilik açısından da zengin bir peyzaj yapısı oluşturmuştur. Kent sakinlerinin gündelik yaşam pratikleri içinde toprağa temas etmesi, doğa ile etkileşimde bulunması ve üretken bir çevre içinde yaşaması, biyofilik tasarımın insan-doğa bütünleşmesini hedefleyen temel yaklaşımını desteklemektedir.

Safranbolu'nun bütüncül yerleşme kurgusu, sadece çevresel verilerle uyumlu fiziksel planlama değil; aynı zamanda sosyal ve kültürel sürdürülebilirliği de sağlayan yaşam pratikleri üretmiştir. Komşuluk ilişkileri, avlulardaki ortak yaşam alanları ve doğa ile kurulan sürekli temas, kullanıcıların psikolojik refahını ve toplumsal dayanışmasını güçlendirmiştir (Eyüce, 1983; Rapoport, 1969; Beatley, 2011).

Bu özellikler, biyofilik tasarımın psikolojik, sosyal ve kültürel boyutlarını bütüncül şekilde bir araya getiren önemli bir geleneksel yerleşme örneği sunmaktadır (Kellert et al., 2008; Beatley, 2011). Safranbolu, bu özgün özellikleri ile bugünün biyofilik tasarım uygulamaları için güçlü bir referans noktası oluşturmaktadır. Topoğrafya ile uyumlu planlama, doğal malzeme kullanımı, su ve bitki öğelerinin mekâna entegrasyonu, iklimle uyumlu yapı kabukları ve sürdürülebilir mikroklimatik çözümler açısından çağdaş peyzaj mimarlığı ve kentsel tasarım disiplinlerinde uygulanabilir pek çok ilkeyi içinde barındırmaktadır (Kuban, 1995; Gültekin, 2006; Kellert et al., 2008).

Mardin

Midyat, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin tarih boyunca birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış önemli geleneksel yerleşmelerinden biri olmaktadır. Süryani, Arap, Kürt ve Müslüman toplulukların uzun yıllar bir arada yaşadığı bu yerleşme, kültürel çeşitliliğini kentsel doku ve mimari öğelere de yansıtmaktadır (Altınok, 2006; Kuban, 1995). Kentte görülen konutlar, kiliseler, camiler ve manastırlar, farklı toplumsal ve dini yapıların bir arada varlığını sürdürdüğünü göstermektedir. Midyat'a özgü sarımsı kalker taşı, bu yapıların hem estetik hem de işlevsel karakteristiğini belirleyen temel yapı malzemesi olmaktadır (Uysal & Turan, 2012).

Yerleşme dokusu, bölgenin sıcak ve kurak iklim koşullarına uyumlu olarak şekillenmektedir. Kalın taş duvarlar, gündüzleri iç mekânları serin tutarken, geceleri ise ısıyı içeride muhafaza ederek termal konfor sağlamaktadır (Eyüce, 1983; Yılmaz & Efe, 2000). Konutların çoğu iç avlulu planlara sahiptir; bu avlular hem mahremiyet sağlar hem de gölge alan yaratarak mikroklimayı iyileştirmektedir. Dar ve kıvrımlı sokaklar ise rüzgârın yönlendirilmesini ve gölge oranını artırarak açık alan kullanımını daha konforlu hale getirmektedir (Tuncer, 2002).

Midyat geleneksel konutlarında teraslar ve açık yaşam alanları önemli yer tutmaktadır. Özellikle yaz aylarında serin akşam esintilerinden yararlanmak amacı ile kullanılan teraslar, aynı zamanda sosyal buluşma mekânı işlevi görmektedir. Zarif taş oymacılığı, kemerli geçişler, taş merdivenler ve balkonlar da kentin kendine özgü mimari kimliğini güçlendiren öğeler arasında yer almaktadır (Koca, 2006). Bu mimari özellikler hem estetik bir değer yaratmakta hem de yapısal dayanıklılığı desteklemektedir.

Midyat geleneksel yerleşmesi, sadece fiziksel mekân kurgusu ile değil, sosyal yaşam biçimi ile de dikkat çekmektedir. Aile yapısına dayalı yaşam düzeni, el sanatları, taş işçiliği ve toplumsal dayanışma kültürü, yerleşmenin sosyal dokusunu oluşturmaktadır (Birol, 2005). Günümüzde Midyat, hem korunmuş taş mimarisi hem de kültürel zenginliği ile sürdürülebilir yerel mimari

ve koruma planlamaları açısından önemli bir örnek oluşturmaktadır (Beatley, 2011; Kellert et al., 2008).

Birgi (Ödemiş, İzmir)

Ege Bölgesi'nde yer alan İzmir'in Ödemiş ilçesine bağlı Birgi, sadece tarihî ve kültürel dokusu ile değil, çevre ile uyumlu yerleşme kurgusu ile de dikkat çeken bir geleneksel yerleşme örneği olmaktadır. Yerleşme, Bozdağ eteklerindeki eğimli araziye adapte olarak kademeli bir yapılaşma sergilemektedir. Bu kademeli yerleşme biçimi sayesinde hem manzara ile görsel bütünlük sağlanmakta hem de erozyon ve toprak kaymaları en aza indirilmektedir (Kuban, 1995; Tuncer, 2004). Aynı zamanda, yerleşme planı, çevresindeki dere yatakları, kaynak suları ve zengin bitki örtüsü ile doğrudan ilişki kurarak ekosistemle uyumlu bir yaşam alanı oluşturmaktadır (Altınok, 2007).

Birgi'de kullanılan açık su kanalları ve sokak çeşmeleri, hem işlevsel hem de estetik açıdan önemli rol oynamaktadır. Sokakların kenarlarından geçen su yolları, hem sulama hem de yaz aylarında çevredeki sıcaklığı dengeleyici bir serinlik sağlamaktadır (Yılmaz & Efe, 2000). Sürekli hareket eden suyun sesi ve görsel etkisi, sakinlerin doğal çevre ile olan duyusal bağlarını güçlendirmektedir. Bu özellikler, biyofilik tasarımın insan-doğa etkileşimini destekleyen temel ilkeleri ile örtüşmektedir (Kellert et al., 2008; Beatley, 2011).

Yerel kaynaklı taş, kerpiç ve ahşap malzemelerle inşa edilen konutlar, hem doğal kaynakların verimli kullanımını sağlamakta hem de iklime uygun mikroklimatik konfor sunmaktadır. Konutların avlularında yer alan meyve ağaçları, hem ekonomik fayda sağlamakta hem de yaprak yüzeylerinden gerçekleşen terleme yolu ile serinletici bir ortam oluşturmaktadır (Eyüce, 1983). Ayrıca avlulara entegre edilen bitkisel öğeler, doğal gölgeleme ve biyofilik peyzaj elemanları olarak mekân kalitesini artırmaktadır.

Birgi'nin sokak dokusu, organik ve dar yapısı ile termal konforu destekleyen bir mekânsal çözüm sunmaktadır. Sokakların eğimi ve yönelimi, yaz aylarında gölge alanlar oluşturarak güneşin aşırı etkisini sınırlandırmakta, kış aylarında ise güneş ışığının iç mekânlara ulaşmasına imkân tanımaktadır (Tuncer, 2004; Gültekin, 2006). Sokakların kıvrımlı yapısı aynı zamanda doğal havalandırmayı kolaylaştırmakta ve kullanıcı konforunu artırmaktadır. Birgi'nin doğa ile kurduğu bu uyumlu ilişki, günümüz sürdürülebilir peyzaj ve mimarlık uygulamaları için önemli bir örnek teşkil etmektedir.

Cumalıkızık (Bursa)

Marmara Bölgesi'nde, Bursa Uludağ eteklerinde yer alan Cumalıkızık, Anadolu'nun doğa ile bütünleşmiş geleneksel yerleşmelerinin önemli örneklerinden biridir. Köy, eğimli topografyaya uyum sağlayarak gelişmiş kademeli yerleşme planı ile dikkat çekmektedir. Bu mekânsal düzenleme sayesinde hem toprak kaymaları önlenmiş hem de doğal su akışları ve mikroklimatik denge korunmaktadır (Kuban, 1995; Tuncer, 2005). Organik sokak ağı, yoğun bitki örtüsü ve yerel malzeme kullanımı ile Cumalıkızık, biyofilik tasarımın doğa ile uyum ilkesini tarihsel bağlamda başarı ile yansıtan nadide örneklerden biri olmaktadır (Altınok, 2007; Beatley, 2011).

Cumalıkızık konutları, avlu etrafında kurgulanan yapısı ile hem mahremiyet sağlamakta hem de günlük yaşam için işlevsel açık alanlar sunmaktadır. Avlularda bulunan dut, ceviz, erik gibi meyve ağaçları, yaz aylarında doğal gölgeleme ve serinlik sağlarken, evapotranspirasyon yolu ile çevresel nem dengesini de desteklemektedir (Eyüce, 1983; Yılmaz & Efe, 2000). Bitkisel çeşitlilik, biyofilik tasarımın duyusal ve psikolojik temas kurma işlevini güçlendirerek sakinlerin doğa ile sürekli etkileşim halinde olmalarını sağlamaktadır. Ayrıca, bu avlularda yer alan sebze bahçeleri, su kanalları ve küçük üretim alanları, doğa ile bütünleşik yaşam anlayışını destekleyen işlevsel peyzaj ögeleri olarak öne çıkmaktadır.

Köydeki evler, taş temeller üzerine yerel kerpiç ve ahşap malzeme kullanılarak inşa edilmiştir. Bu yapı sistemi, iklim koşullarına karşı koruma sağlarken, doğal kaynak kullanımında da sürdürülebilirlik sunmaktadır (Birol, 2005; Gültekin, 2006). Ahşap cumbalar ve geniş saçaklar, güneş ışığını kontrol altında tutarak iç mekân sıcaklık dengesini sağlamaktadır. Sokaklara açılan pencereler ve balkonlar ise sosyal etkileşimi artıran ve mahalle kültürünü destekleyen mekânsal çözümler sunmaktadır. Bu tasarım anlayışı, biyofilik tasarımın sosyal bağ kurma ve doğal ışık yönetimi ilkeleri ile örtüşmektedir (Kellert et al., 2008).

Cumalıkızık sokakları dar, kıvrımlı ve taş döşelidir. Taş kaplamalı yollar, yağmur suyunun kontrollü şekilde yüzeyden süzülerek yer altına ulaşmasını kolaylaştırmaktadır. Bu sistem, yüzey akışını azaltarak hem erozyon riskini düşürmekte hem de yer altı su kaynaklarının beslenmesini sağlamaktadır (Tuncer, 2005; Koca, 2006). Böylece, suyun doğal döngüsü desteklenirken biyofilik tasarımın suyun ekosistemdeki bütüncül rolünü vurgulayan ilkesine de uygunluk sağlanmaktadır. Uludağ'ın doğal manzarası ve köyün organik dokusu birlikte düşünüldüğünde, Cumalıkızık hem görsel hem de psikolojik anlamda kullanıcıda doğa ile güçlü bir bağ kuran yaşam ortamı sunmaktadır.

Cumalıkızık'ın bu dengeli yerleşme anlayışı, günümüz biyofilik tasarım ve sürdürülebilir peyzaj uygulamaları açısından önemli dersler sunmaktadır. Topoğrafyaya saygılı yapılaşma, doğal kaynakların etkin kullanımı, yağmur suyu yönetimi ve mikroklimatik düzenleme gibi unsurlar, doğa ile uyumlu yaşam çevrelerinin nasıl planlanabileceğine dair çağdaş uygulamalara ışık tutmaktadır (Kuban, 1995; Beatley, 2011).

Uçhisar (Nevşehir)

İç Anadolu Bölgesi'nde, Kapadokya'nın kalbinde yer alan Uçhisar, kaya oyma yerleşmeleri ile Anadolu'nun en özgün geleneksel yaşam örneklerinden biridir. Bölgenin volkanik jeolojik yapısının oluşturduğu yumuşak tüf kayaçlar, tarih boyunca insanların doğal malzemeyi doğrudan işleyerek yaşam alanlarına dönüştürmesine olanak tanımaktadır (Kuban, 1995; Aksoy & Göktürk, 2007). Bu kaya oyma yapılar, çevresel formlara minimum müdahale ile inşa edilerek doğa ile bütünleşmiş mekânsal çözümler sunmuştur; böylece biyofilik tasarımın doğal formdan esinlenme ve mevcut yapıya uyum ilkelerini somut biçimde yansıtmaktadır (Kellert et al., 2008).

Uçhisar'da yer üstü ve yer altı mekânlarının bir arada kullanımı, iklime uyum sağlayan pasif tasarım stratejilerini beraberinde getirmektedir. Kaya kütlelerinin yüksek ısı depolama

kapasitesi sayesinde, yapılar yazın serin, kışın ise ılıman iç mekân koşulları sağlamaktadır (Eyüce, 1983; Birol, 2005). Bu doğal ısı dengeleme sistemi enerji gereksinimini azaltarak kullanıcı konforunu sürekli kılmaktadır. Ayrıca, yer altı galerileri ve odaları, güvenlik ve korunma ihtiyacına yanıt vererek biyofilik tasarımın barınak sağlama ilkesini psikolojik düzeyde de desteklemektedir (Beatley, 2011).

Uçhisar yalnızca mimarisi ile değil, çevresindeki üretim peyzajı ile de doğa ile kurulan dengeli ilişkinin somut örneklerini sunmaktadır. Vadiler boyunca uzanan tarımsal teraslar, eğimli arazinin stabilitesini korurken, erozyon kontrolü ve suyun dengeli dağılımı açısından da işlevsel katkı sağlamaktadır (Yılmaz & Efe, 2000; Tuncer, 2005). Üzüm bağları, meyve bahçeleri ve sebze tarlaları, doğa ile üretken bir etkileşimi sürdürerek biyofilik tasarımın insan-doğa etkileşimi ilkesini yaşatan üretim alanları oluşturmaktadır.

Yerleşmede suyun sürdürülebilir yönetimi de dikkat çekici olmaktadır. Kaya içine oyulmuş sarnıçlar, yağmur suyunun toplanarak depolanmasını ve kuru dönemlerde kullanılmasını sağlamaktadır (Koca, 2006). Bu sistem, hem doğal kaynakların verimli kullanımına hem de iç mekânlarda serin ve nemli hava oluşturarak termal konforun sağlanmasına katkı sunmaktadır. Sarnıçlar, biyofilik tasarımın suyun döngüsel yönetimi ve iklimsel denge kurma ilkeleri ile uyum içinde olmaktadır (Kellert et al., 2008).

Uçhisar'ın sokak dokusu ve manzaraya hâkim konumu, kullanıcıya sürekli doğa ile görsel ve fiziksel temas imkânı sunmaktadır. Organik sokak ağı yürüyüş sırasında değişken manzara açıları, ışık-gölge oyunları ve çevresel uyaranlarla zengin bir mekânsal deneyim oluşturmaktadır (Altınok, 2007). Peribacaları ve vadilere açılan manzaralar, biyofilik tasarımın görsel doğa teması ve mekânsal ferahlık ilkelerine güçlü şekilde yanıt ver.

Uçhisar'ın jeolojik, kültürel ve mekânsal organizasyonu, doğa ile çatışmadan kurulan sürdürülebilir yaşam modeli açısından çağdaş tasarım ve planlama uygulamalarına önemli katkılar sunmaktadır. Kaya oyma teknikleri ile geliştirilen yapılaşma, suyun etkin yönetimi, eğimli araziye uyumlu tarımsal sistemler ve doğal mikroklima çözümleri, biyofilik tasarımın temel ilkeleri ile bütünleşen başarılı geleneksel uygulamalar olarak değerlendirilmektedir (Gültekin, 2006; Beatley, 2011).

Eğirdir (Isparta)

Akdeniz Bölgesi'nde, Isparta iline bağlı Eğirdir, doğal ve kültürel zenginlikleri ile dikkat çeken önemli bir geleneksel yerleşme alanıdır. Eğirdir Gölü'nün kıyısında ve dağlık arazi ile çevrili konumu, tarih boyunca bu bölgeyi yerleşme için cazip kılmıştır (Kuban, 1995; Altınok, 2008). Su kaynaklarının bolluğu, balıkçılık ve tarıma elverişli verimli topraklar sayesinde hem ekonomik hem de sosyal yaşam şekillenmiştir. Tarihi camiler, kiliseler ve geleneksel konut yapıları, Eğirdir'in farklı kültürlerin etkisi altında gelişen çok katmanlı tarihini yansıtan önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Eyüce, 1983; Tuncer, 2005).

Eğirdir'in yerleşme dokusu, doğal topografya ve iklim koşulları ile uyumlu şekilde şekillenmiştir. Göl ve dağlar arasında sınırlı düz alanda kurulan yerleşmede sokaklar dar, eğimli ve kıvrımlı şekilde tasarlanmıştır. Bu organik sokak düzeni, yaz aylarında gölge sağlayarak serinletici bir mikroklima oluşturmakta, aynı zamanda rüzgâr etkisini de dengelemektedir (Yılmaz & Efe, 2000). Geleneksel konutlarda taş zemin katların üzerine inşa edilen ahşap üst katlar hem depreme karşı dayanıklılığı artırmakta hem de doğal ısı yalıtımı sağlamaktadır (Birol, 2005).

Konutlarda avlu ve çıkma öğeleri önemli mekânsal işlevler üstlenir. Sokağa doğru taşan çıkmalar, hem sokakla görsel ilişki kurmayı sağlamakta hem de iç mekâna kontrollü gün ışığı girişi sunarak biyofilik etkileşimi artırmaktadır (Gültekin, 2006). Avlular, aile yaşamının merkezi olup hem mahremiyet hem de günlük açık hava kullanımı açısından işlevsellik sağlar. Çatıların kiremitle kaplanması, ahşap kepenk ve pergolaların kullanımı da yerel mimarinin karakteristik unsurları arasında yer alır. Teras ve balkonlar, göl manzarası ile bütünleşen bir yaşam deneyimi sunar (Koca, 2006).

Eğirdir'in geleneksel yerleşme modeli, mimarinin ötesinde sosyal yaşam biçimi ile de sürdürülebilir bir yaşam örneği sunmaktadır. Su kaynağına yakınlık, tarım ve bahçeciliği desteklemiş; özellikle elma ve üzüm yetiştiriciliği, bölge ekonomisinin önemli unsurları arasında yer almıştır (Tuncer, 2005; Altınok, 2008). Günümüzde ise Eğirdir, hem korunmuş yerleşme dokusu hem de doğal peyzajı ile kültürel turizm ve sürdürülebilir peyzaj planlaması açısından önemli bir kaynak oluşturmaya devam etmektedir (Beatley, 2011).

Harput (Elazığ)

Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Harput, Elazığ ilinin kuzeyinde, tarih boyunca birçok medeniyete ev sahipliği yapmış köklü bir yerleşme merkezidir. Fırat Havzası'na hâkim bir tepe üzerinde konumlanan Harput, stratejik coğrafi yapısı nedeni ile Urartular, Roma, Bizans, Artuklu ve Osmanlı gibi pek çok uygarlığın izlerini taşımaktadır (Kuban, 1995; Çelik, 2007). Kale, camiler, kiliseler, hamamlar ve geleneksel konut yapıları, Harput'un tarih boyunca çok kültürlü kimliğini yansıtan önemli mimari ve kentsel ögelerdir (Birol, 2005).

Harput'un yerleşme dokusu, bulunduğu sert kara iklimi ve topoğrafyanın etkisi ile şekillenmiştir. Uzun ve soğuk kış koşulları nedeni ile yapıların kalın taş duvarlarla inşa edildiği görülmektedir. Bu duvarlar hem ısı yalıtımı sağlamakta hem de yapıların dayanıklılığını artırmaktadır (Eyüce, 1983; Yılmaz & Efe, 2000). Yerleşme teraslanmış eğimli arazi üzerinde kurulmuş; sokaklar dar, kıvrımlı ve topografyaya uyumlu şekilde planlanmıştır. Bu sokak düzeni hem rüzgâr etkisini azaltmakta hem de sokakların iklimsel konforunu desteklemektedir (Tuncer, 2005).

Harput evlerinde iç avlu ve çıkmalar önemli mekânsal unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Avlular, hem mahremiyeti koruyan kapalı yaşam alanları hem de sosyal etkileşim mekânları işlevi görmektedir. Cumbalar ve çıkmalar, yaşam alanını genişletirken, sokakla güçlü görsel ve sosyal bağ kurmayı sağlamaktadır (Gültekin, 2006). Ahşap ve taşın birlikte kullanıldığı cephe

tasarımları Harput mimarisine estetik bir kimlik kazandırmış; kiremit çatı örtüleri ise kar ve yağışa karşı koruma sağlamıştır (Altınok, 2008).

Harput geleneksel yerleşmesi, yalnızca fiziksel mekânları ile değil, sosyo-kültürel yaşam biçimi ile de özgün bir örnek teşkil etmektedir. Komşuluk ilişkileri, dayanışma kültürü ve geleneksel zanaatlar, Harput'un sosyal dokusunun temelini oluşturmuştur. Bakır işçiliği, taş ustalığı ve halıcılık gibi geleneksel el sanatları yüzyıllardır ekonomik ve kültürel yaşamın önemli parçaları olmuştur (Koca, 2006; Beatley, 2011). Günümüzde Harput, tarihî mirası ve korunmuş yerleşme dokusu ile kültürel turizm ve sürdürülebilir koruma uygulamaları açısından önemli bir merkez konumundadır.

3.BİYOFİLİ KAVRAMI VE BİYOFİLİK TASARIM

Biyofili kavramı, insanın doğaya ve diğer canlı varlıklara karşı sahip olduğu içsel ve doğal yakınlığı tanımlamaktadır. Terim, kökenini eski Yunanca'daki "bios" (yaşam) ve "philia" (sevgi, dostluk) kelimelerinin birleşiminden almakta olup, kelime anlamı olarak "yaşam sevgisi" anlamına gelmektedir (Kellert & Wilson, 1993). Biyofili hipotezi ilk olarak biyolog Edward O. Wilson tarafından 1984 yılında ortaya atılmış ve insanın doğadaki canlılara, doğal sistemlere ve çevresel süreçlere karşı doğuştan gelen bir ilgi ve bağlılık geliştirdiği fikrine dayanmıştır (Wilson, 1984). Wilson, biyofiliyi evrimsel süreçlerin şekillendirdiği temel bir insan eğilimi olarak değerlendirir. Ona göre, insan türünün tarih boyunca doğa ile sürekli etkileşim içinde olması, hayatta kalma becerilerini geliştirmiş ve psikolojik gelişim için önemli bir temel oluşturmuştur (Beatley, 2011). Doğal çevre ile kurulan bu ilişki, hem fiziksel hem de ruhsal sağlığın desteklenmesinde belirleyici olmaktadır. Ancak sanayileşme, kentleşme ve teknolojik gelişmeler sonucunda modern yaşamın gereklilikleri, bireylerin doğa ile temasını büyük oranda azaltmıştır. Bu durum, psikolojik stres, dikkat eksikliği, depresyon ve bazı sağlık sorunlarının artmasına zemin hazırlamıştır (Kellert et al., 2008).

Bu bağlamda biyofili, mimarlık, peyzaj mimarlığı ve kentsel tasarım gibi disiplinlerde insan-doğa ilişkisini yeniden kurmayı hedefleyen önemli bir tasarım yaklaşımı olarak öne çıkmaktadır. Biyofilik tasarım, bireylerin doğal çevre ile bütünleşebileceği mekânlar oluşturarak hem fiziksel hem de zihinsel sağlığı destekleyerek; doğa ile temasın pozitif etkilerden yararlanan bütüncül bir tasarım anlayışı sunmaktadır.

Biyofili, sadece doğrudan doğal ortamlar ile temas sağlamak; aynı zamanda doğadaki form, renk, doku, ritim ve süreçlerin yapılı çevreye yansıtılması yolu ile dolaylı deneyimler aracılığı ile de insan-doğa bağını güçlendirmeyi hedeflemektedir. Bu anlamda biyofili, insan psikolojisi ile doğa arasındaki karmaşık ve çok katmanlı etkileşimi anlamak için önemli bir teorik çerçeve sunmaktadır.

Biyofilik tasarım, biyofili kavramının mimarlık, peyzaj mimarlığı ve kentsel tasarım gibi alanlarda somut uygulama alanı bulmuş hâlidir. Bu tasarım yaklaşımı, yapılı çevrelerin insan doğasına uygun, sağlıklı, sürdürülebilir ve psikolojik açıdan destekleyici çevrelerin oluşumunu desteklemektedir. Biyofilik tasarımın temel amacı, kullanıcıların doğa ile doğrudan ve dolaylı etkileşimini artırarak stresin azalmasına, konsantrasyonun gelişmesine, yaratıcılığın

desteklenmesine ve genel yaşam kalitesinin yükselmesine katkı sağlamaktır (Kellert, 2005; Söylemez, 2015). Özellikle hızlı kentleşmenin doğal çevreyi sınırladığı güncel koşullarında, biyofilik tasarım insan merkezli mekân kurgusunun önemini ortaya koymaktadır.

Biyofilik tasarım, sürdürülebilirlik ve ekolojik bütünlük kavramları ile da sıkı bağ içindedir. Doğal sistemlerin mekânsal düzenlemeye entegrasyonu, doğal kaynakların verimli kullanımı, enerji tasarrufu ve biyolojik çeşitliliğin korunması bu yaklaşımın ekolojik boyutunu oluşturmaktadır (Kellert & Wilson, 1993). Dolayısıyla biyofilik tasarım, yalnızca estetik veya fonksiyonel değil, ekolojik sorumlulukla insan sağlığını birleştiren bütüncül bir tasarım anlayışı sunmaktadır.

Stephen Kellert, biyofili kavramının mimari tasarımda önemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgulamıştır. Edward O. Wilson ile birlikte çalıştığı *Building for Life* (2005) isimli eserinde biyofili konseptini mimarlık ve tasarım literatürüne kazandırmıştır (Kellert, 2005; Wilson, 1984). Bu çalışma ile birlikte "biyofilik tasarım" terimi disiplinler arası literatürde geniş bir uygulama alanı bulmuştur.Biyofilik tasarım ilkeleri, doğa ile kurulan etkileşim türüne ve tasarım ölçeğine bağlı olarak çeşitli kategorilerde değerlendirilmiştir. Kellert ve araştırma ekibine göre bu ilkeler:

Biyofilik Tasarım İlkesi	**Açıklama ve Örnek Uygulamalar**
Doğanın Doğrudan Deneyimlenmesi	Doğal ışık ve havalandırma, su öğelerinin (gölet, çeşme, şelale) entegrasyonu, iç ve dış mekânda bitki kullanımı, canlı hayvanların varlığı, doğal malzemelerin (ahşap, taş vb.) tercih edilmesi
Doğanın Dolaylı Olarak Deneyimlenmesi	Biomorfik formlar, doğal renk paletleri (toprak tonları, yeşil ve mavi), doğal dokular ve desenler (yaprak damarları, dalga desenleri), ışık-gölge oyunları
Mekânsal ve Algısal Deneyimlerin Tasarımı	İç-dış mekân sürekliliği, manzara bağlantıları, mahremiyet ve açıklığın dengelenmesi, hareketle doğa ile karşılaşmayı sağlayan mekân organizasyonu
Doğal Süreçlerin ve Döngülerin Entegrasyonu	Mevsimsel değişimlerin hissedilmesi, su döngüsü, doğal havalandırma sistemleri, rüzgâr yönleri ve ışık açılarının dikkate alınması
Duyusal Deneyimler	Kuş ve su sesleri, doğal kokular (çiçek, toprak), dokunsal yüzeyler, rüzgâr etkisi ve diğer duyusal unsurların mekâna entegrasyonu

Çizelge1. Biyofilik tasarım ilkeleri (Kellert et al., 2008; Beatley, 2011).

Biyofilik tasarım anlayışı, yalnızca konut projeleri ile (görsel1.) sınırlı kalmamakta; ofisler, okullar, hastaneler(görsel2.), kamusal parklar ve kentsel açık mekânlarda da uygulanmaktadır (Beatley, 2011; Söylemez, 2015). İnsan-doğa etkileşimini destekleyen bu mekânsal yaklaşımlar; fiziksel, zihinsel ve bilişsel iyilik hâlini artırmayı hedeflemektedir. Modern yaşamın doğadan uzaklaştığı mevcut koşullarda biyofilik tasarımın önemi artmaktadır.



Görsel 1.İngiltere'de bulunan Foxglove House.(Anonymous 2025a)

Özellikle sağlık yapılarında biyofilik tasarım, hastaların iyileşme sürecini hızlandırırken, hasta yakınları ve sağlık personelinin memnuniyetini de artırmaktadır. Doğal ışık kullanımı, iç mekânlarda bitkisel ögelerin varlığı, su öğeleri ve dış manzaraya açılan pencereler, stresi azaltarak iyileşme sürecine katkı sağlamaktadır. Çeşitli araştırmalar, doğal unsurların bulunduğu sağlık tesislerinde kalış sürelerinin azaldığını ve ağrı algısının düştüğünü ortaya koymaktadır (Ulrich, 1984; Kellert et al., 2008).



Görsel 2.Bamyan şehir hastanesi. (Anonymous 2025b)

Eğitim yapılarında biyofilik tasarım, öğrencilerin dikkat, öğrenme performansı ve sosyal gelişimini olumlu yönde etkiler. Doğa temelli oyun alanları, öğretici bahçeler ve açık hava sınıfları, öğrenme sürecini destekleyen mekânsal çözümler olmaktadır (Wells & Evans, 2003; Söylemez, 2015).

Kentsel ölçekte biyofilik tasarım, sürdürülebilir kentleşmenin önemli bir aracı olarak değerlendirilmektedir. Yeşil altyapı sistemleri, doğa temelli çözümler ve ekosistem hizmetlerini temel alan uygulamalar biyofilik tasarımın kent ölçeğindeki uygulamalarıdır. Yağmur bahçeleri, geçirgen yüzeyler, yeşil çatılar, dikey bahçeler, ekolojik koridorlar ve kent ormanları bu yaklaşımın örnek uygulamalarıdır.

4. GELENEKSEL YERLEŞMELER VE BİYOFİLİK TASARIM

İnsanın doğa ile kurduğu ilişki, tarih boyunca yalnızca hayatta kalma amacı ile sınırlı kalmamış; aynı zamanda kültürel, psikolojik ve mekânsal kimliklerin de biçimlenmesinde belirleyici rol olmuştur (Wilson, 1984; Kellert, 2005). Bu anlamda, geleneksel yerleşmeler insan-doğa etkileşiminin özgün yöresel, dengeli ve sürdürülebilir örneklerini sunmuş; biyofilik tasarım ise, çağdaş yaşamda zayıflayan bu bağın yeniden güçlenmesini sağlayan bir yaklaşım olmuştur.

Her iki tasarım anlayışında da doğa, yalnızca arka planda kalan bir unsur değil; yaşamın merkezinde, aktif ve bütünleyici bir öğe olarak ele alınmaktadır (Söylemez, 2015). Geleneksel yerleşmelerin çevre ile bütünleşik tasarım yaklaşımları, biyofilik tasarımın temel ilkelerini tarihsel bağlamda somutlaştıran uygulamalar sunmaktadır.

Geleneksel yerleşmelerde iklim, topografya, su kaynakları ve yerel flora, mekânsal organizasyonun şekillenmesinde belirleyici olmuştur (Kuban, 1995; Eyüce, 1983). Örneğin, sıcak ve kurak bölgelerde dar sokaklar, avlular ve su öğeleri doğal serinlik sağlamak için

planlanmış, bu yaklaşım biyofilik tasarımın pasif iklimlendirme ve mikroklimatik denge sağlama ilkeleri ile örtüşmüştür (Kellert et al., 2008).

Bitkisel öğeler geleneksel yerleşmelerin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bahçeler, meyve ağaçları, pergolalar ve su ögeleri hem estetik hem işlevsel yararlar sağlamış; kullanıcıların doğa ile sürekli görsel ve fiziksel temas içinde olmasına olanak tanımıştır. Bu durum, biyofilik tasarımın "çoklu duyusal deneyim" ilkesinin tarihsel bir karşılığıdır (Beatley, 2011; Söylemez, 2015).

Biyofilik tasarım, mekânın insan sağlığı üzerindeki etkilerini bilimsel veriler ile açıklamaya çalışırken, geleneksel yerleşmeler bu etkiyi sezgisel bilgi ; kültürel birikim ve kuşaktan kuşağa aktarılan yapı bilgisi ile sağlamaktadır. Doğal malzeme kullanımı, el işçiliği ve doğa ile kurulan görsel iletişimin yanı sıra entegre olmuş bir yapılanma gerek psikolojik gerek fiziksel konfor koşullarını desteklemektedir.

Geleneksel yerleşmelerde oluşan aidiyet duygusu, bireylerin mekânsal kimlikleri ile güçlü bağ kurmalarını sağlamış; bu durum biyofilik tasarımın yer duygusu (genius loci) kavramı ile örtüşmektedir (Norberg-Schulz, 1980; Kellert, 2005).

Kamusal alanlarda da her iki yaklaşım arasında benzerlikler bulunmaktadır. Geleneksel sokaklar, avlular ve meydanlar, yalnızca dolaşım değil; sosyal etkileşim, üretim ve dinlenme gibi çok işkeve yanıt verecek mekânlar olarak tasarlanmıştır. Biyofilik tasarım da bugün bu anlayışı şehir parkları, kent çiftlikleri ve kamusal yeşil alanlarda sürdürmektedir (Beatley, 2011).

Doğa ile etkileşimli sosyal alanlar, toplumsal dayanışmayı güçlendirmektedir. Geleneksel yerleşmelerde sosyal ilişkilerin doğada gerçekleştirilmesi ve doğal çevre entegrasyonu psikolojik açıdan da katkı sağlamaktadır.

Geleneksel yerleşmeler, nesilden nesile aktarılan yerel bilgi ve gözleme dayanırken; biyofilik tasarım, çağdaş bilimsel araştırmalar ve disiplinler arası verilerle şekillenmektedir (Kellert & Wilson, 1993; Söylemez, 2015). Ancak bu iki yaklaşımın bütünleştirilmesi, mekânsal kaliteyi ve kültürel sürekliliği güçlendirmektedir.

Her iki anlayış da mekânsal çeşitliliğe önem vermektedir. Geleneksel yerleşmelerde sokak dokuları, avlu tipolojileri ve bitkilendirme çeşitlilik gösterirken; biyofilik tasarım bu çeşitliliği sistematik olarak kullanıcı deneyimini zenginleştirmek için uygulamaktadır (Kellert et al., 2008; Beatley, 2011).

Malzeme kullanımı da ortak bir payda olup, geleneksel yerleşmeler yerel malzeme olanaklaı doğrultusunda taş, kerpiç ve ahşap gibi malzemelerin kullanımı yanında; yenilenebilir, yerel ve çevresel etkisi düşük malzemeleri tercih etmektedir.

Doğal ışığın kullanımı her iki tasarım anlayışında temel belirleyicilerinden biridir. Geleneksel yapılarda gün ışığı avlular, kapı ve pencere açıklıkları ile iç mekâna alınırken; biyofilik tasarım doğal aydınlatmayı insan sağlığına olumlu katkı sağlayacak şekilde optimize etmektedir (Söylemez, 2015; Kellert et al., 2008).

İklim ile uyumlu yapı yönelimi, geleneksel planlamanın temel ilkelerinden biri olmaktadır; güneş ışığı, rüzgâr yönü ve topografya ile uyumlu yerleşme planlaması ve tasarım yapılmaktadır. Biyofilik tasarım ise bu doğal yönelimleri enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik hedefleri ile sistematik hale getirmektedir.

Su yönetimi de önemli bir bileşendir. Geleneksel şadırvanlar, su yolları ve sarnıç sistemleri, biyofilik tasarımın güncel yağmur suyu hasadı ve gri su sistemleri ile benzer işlevler görmektedir (Yılmaz & Efe, 2000; Kellert et al., 2008).

Doğal sesler ve manzaralar, duyusal deneyimi zenginleştirmektedir. Su sesi, kuş cıvıltısı ve yeşil manzara, biyofilik tasarımın "doğal ses ve manzara" ilkesi ile doğrudan ilişkili olmaktadır (Ulrich, 1984; Beatley, 2011).

Geleneksel yerleşmelerin organik ve çevreye duyarlı niteliği, biyofilik tasarımın insan ölçekli tasarım yaklaşımı ile örtüşmektedir.

Ekosistem hizmetleri de her iki yaklaşımın merkezinde yer almaktadır. Geleneksel yerleşmeler habitatlara saygılı planlanmış, biyofilik tasarım ise kentsel peyzajda biyoçeşitliliği artırmayı hedefleyen çözümler geliştirmektedir (Beatley, 2011; Kellert et al., 2008).

Geleneksel yerleşmelerin sezgisel ve deneyim temelli çözüm yolları, biyofilik tasarımın bilimsel temelli sistematik ilkeleri ile birleştiğinde çağdaş planlama ve tasarım için sürdürülebilir ve çok katmanlı bir altyapı sunmaktadır (Kellert, 2005; Söylemez, 2015). Bu bütünleşik yaklaşım, yalnızca estetik değil, aynı zamanda ekolojik, sosyal ve kültürel bütünlüğü hedefleyen tasarım vizyonları geliştirilmesine olanak tanımaktadır.

5. DEĞERLENDİRME

Geleneksel yerleşmelerin mekânsal kurgusu, tarihi süreç içinde insan ve doğa arasındaki ilişkinin en dengeli ve sürdürülebilir biçimde nasıl kurulanabileceğine ilişkin önemli ipuçları barındırmaktadır. Bu yerleşmeler, yalnızca barınma gereksinimi karşılayan fiziksel yapılar olmanın yanı sıra, içinde bulunulan coğrafyanın sunduğu kaynaklar ile uyum içinde şekillenen, ekolojik dengeyi ve toplumsal bütünleşmeyi destekleyen nitelikli mekân örnekleri olarak dikkat çekmektedir.

İklim koşulları, topografya, su kaynakları, bitki örtüsü ve yerel yapı malzemeleri gibi çevresel verilerin etkin şekilde değerlendirilmesi, geleneksel yerleşmelerin en temel tasarım ilkeleri arasında yer almaktadır. Bu unsurlar, yalnızca yapı ölçeğinde değil, aynı zamanda kentsel doku ve peyzaj organizasyonu düzeyinde de önemli biçimlendirici faktörler olmaktadır. Özellikle

avlular, sokaklar ve kamusal alanlar, doğa ile bütünleşmiş yaşam senaryoları oluşturmaktadır (Kuban, 1995; Eyüce, 1983; Yılmaz & Efe, 2000; Kellert et al., 2008; Beatley, 2011).
Geleneksel yerleşmelerin sahip olduğu bütüncül tasarım yaklaşımı, bugün sıkça başvurulan biyofilik tasarım ilkeleri ile birçok ortak paydaya sahiptir. Biyofilik tasarım, insan doğasının ayrılmaz bir parçası olan doğa ile bağ kurma eğilimini temel alarak, modern yaşam mekânlarını hem estetik hem de psikolojik ve fizyolojik açıdan iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu anlamda geleneksel yerleşmeler, biyofilik tasarımın çağdaş uygulamaları için önemli birer model teşkil oluşturmaktadır.

Biyofilik tasarım anlayışının temelinde, insanın doğaya olan genetik yatkınlığının mekâna yansıtılması yer almaktadır. Doğal ışığın, havalandırmanın, bitkisel öğelerin, su varlığının ve doğal manzaraların tasarıma entegre edilmesi, bu yaklaşımın başlıca stratejileri arasında sayılabilmektedir (Wilson, 1984; Kellert, 2005; Kellert et al., 2008). Geleneksel yerleşmelerin mekânsal kurgusunda bütün bu ilke ve yaklaşımların varlığı, biyofilik tasarımın temel varsayımları ile uyumludur.

Araştırma sürecinde, geleneksel yerleşmelerin doğal malzeme kullanımından, iklim uyumlu yapı tipolojilerine kadar birçok alanda biyofilik tasarım ilkeleri ile kesiştiğini ortaya konmuştur. Özellikle organik sokak dokusu, avlu ve iç bahçe sistemleri, yapıların güneş ışığından optimum düzeyde yararlanacak şekilde konumlandırılması ve rüzgâr yönlerine göre biçimlenen cepheler, doğa ile kurulan bilinçli ve dengeli ilişkinin somut göstergeleri olmaktadır.

Bu anlamda, geleneksel yerleşmelerin sunduğu tasarım ilkelerinin bugün sürdürülebilir kentleşme süreçlerine aktarılması büyük önem taşımaktadır. Modern kentler, artan nüfus ve yoğun yapılaşmanın getirdiği çevresel baskılar nedeni ile ekolojik dengeyi hızla yitirmekte; biyofilik tasarım ise bu dengeyi yeniden tesis etme çabasında çözüm önerileri sunmaktadır.

Geleneksel yerleşmelerin sosyal niteliği de biyofilik tasarım anlayışının desteklediği önemli unsurlardan biridir. İnsanlar arasında güçlü sosyal bağların kurulmasına olanak tanıyan sokak ve meydanlar, paylaşılan avlular ve kamusal alanlar, bireylerin hem doğa ile hem de birbirleri ile sürekli etkileşim hâlinde olduğu yaşam alanları oluşturmuştur (Kellert, 2005; Beatley, 2011; Söylemez, 2015). Bu durum, hem toplumsal dayanışmayı artırmakta hem de bireyleri psikolojik açıdan desteklemektedir (Ulrich, 1984; Kellert et al., 2008).

Biyofilik tasarımın kent ölçeğinde uygulanabilirliğini artıran en önemli etkenlerden biri de kamusal alanların doğa ile bütünleştirilmesidir. Kent parkları, yeşil koridorlar, ekolojik geçiş alanları ve su öğelerinin kent dokusuna entegre edilmesi, modern şehirlerde doğa ile temas imkânlarını çoğaltarak bireylerin yaşam kalitesini yükseltmektedir. Bu anlamda, geleneksel yerleşmelerin sunduğu kurgusal örnekler, bugünün kentsel tasarım çalışmaları için değerli olmaktadır.

Ayrıca geleneksel yerleşmelerin mimari anlamda biçimsel özellikleri, formu ve kütle yapılanması da biyofilik tasarım ilkeleri ile uyumlu özellikler taşımaktadır. Doğal havalandırmaya olanak veren iç avlular, suyun serinletici etkisini kullanan şadırvanlar, gölge

geçiş alanları, bitkisel pergolalar ve doğal ışığı iç mekâna davet eden tasarım detayları, insan konforunu doğa ile birlikte sağlayan çözümler üretmektedir.

Bugünün mimarlık ve peyzaj tasarımı pratiği, geleneksel yerleşmelerin sahip olduğu bu özgün çözüm önerilerini referans alarak, hem yerel kimliği koruyan hem de küresel ekolojik sorunlara yanıt verebilen tasarım stratejileri geliştirme potansiyeline sahip olmaktadır. Bu yaklaşım, kültürel süreklilik ile ekolojik duyarlılığı bir arada değerlendiren bütüncül bir tasarım anlayışını mümkün kılmaktadır.

Biyofilik tasarımın çağdaş kentlerde uygulanması, yalnızca estetik bir tercih değil, aynı zamanda insan sağlığı ve toplumsal refah açısından da gereklidir. Artan psikolojik rahatsızlıklar, stres düzeyleri ve yaşam kalitesi problemleri, doğadan kopuk yaşam biçimlerinin olumsuz sonuçları olarak değerlendirilmektedir (Wilson, 1984; Kellert & Wilson, 1993; Ulrich, 1984). Bu bağlamda doğa ile bütünleşmiş mekânlar, bireylerin gerek zihinsel gerek fiziksel iyilik hâllerini desteklemektedir.

Geleneksel yerleşmelerin sürdürülebilir kaynak kullanımı da biyofilik tasarım ilkeleri açısından önemlidir. Yerel malzeme kullanımı, enerji verimliliği sağlayan yapı kurguları, su tasarrufu sağlayan sistemler ve doğal iklimlendirme çözümleri, çevresel sürdürülebilirliği doğrudan destekleyen uygulamalar arasında yer almaktadır.

Özellikle iklim ile uyumlu yapı yönelimleri ve kütle organizasyonları, bugünün enerji verimliliği odaklı tasarım anlayışına da öncülük edebilecek niteliktedir. Güneş ışığının kontrollü kullanımı, rüzgâr yönlerinden yararlanma, suyun serinletici etkisini mekâna entegre etme gibi pasif tasarım stratejileri, hem enerji tüketimini azaltmakta hem de kullanıcı konforunu artırmaktadır.

Geleneksel yerleşmelerin biçimsel çeşitliliği, biyofilik tasarım ilkeleri kapsamında değerlendirildiğinde, monoton yapılaşmadan uzak, çeşitlilik ve zenginlik içeren mekânsal kurgulanmaya sahiptir. Bu çeşitlilik, bireylerin mekânsal deneyimini zenginleştirmekte ve doğa ile etkileşimi çok boyutlu bir konuma taşımaktadır.

Biyofilik tasarım ilkelerinin çağdaş kentsel tasarım çalışmasında daha sistematik ve bütüncül olarak değerlendirilecektir. Geleneksel yerleşmelerin sunduğu tasarım ilkeleri doğrultusunda, yalnızca yapı ölçeğinde değil, kent ölçeğinde de doğa ile bütünleşmiş yaşam alanları oluşturmak mümkündür.

Yerel bilgi birikimi ile çağdaş bilimsel verilerin sentezlenmesi, sürdürülebilir tasarım anlayışının geleceği açısından kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel yerleşmelerin sağladığı mekânsal, kültürel ve ekolojik uyumu, biyofilik tasarım ilkeleri ile yeniden yorumlamak, bugünün karmaşık kent sorunlarına bütüncül çözümler geliştirme potansiyelini taşımaktadır.

Biyofilik tasarım ve geleneksel yerleşme anlayışı, aslında insanın doğa ile kurduğu ilişkide birbirini tamamlayan iki önemli olgudur. Her iki yaklaşım da doğanın sağladığı imkânları ve

sınırlılıkları dikkate alarak, insan sağlığını, çevresel dengeyi ve toplumsal refahı öncelikleyen mekânsal çözümler üretmeyi hedeflemektedir. Bu değerlendirme doğrultusunda, modern tasarım ve planlama yaklaşımlarının geleneksel bilgi sistemlerinden öğreneceği çok şey olduğu açık bir şekilde ifade edilmektedir. Kültürel mirasın korunması ile sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin kesiştiği noktada, biyofilik tasarım ilkelerinin rehberliğinde geliştirilecek yeni mekânsal yaklaşımlar, geleceğin yaşanabilir ve her ölçekte sağlıklı yaşam çevrelerinin oluşumunda katkı sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR

Anadolu-Türkiye'de hemen her kentte bulunan çok sayıdaki geleneksel yerleşme alanı, yüzyıllar içinde biçim bulan bilgi ve deneyim birikimi ile doğa ile uyumlu bir yaşam modelinin somut örneklerini sunmaktadır. Coğrafyanın sunduğu koşullara duyarlı bu tasarım yaklaşımları, yerleşmelerin her biri için özgün mekânsal çözümler üretmiştir. Bu anlamda, her bölgenin kendine özel iklimsel ve topografik özellikleri, yapıların konumlanışından malzeme seçimlerine kadar pek çok tasarım kararını yönlendirmiştir (Yılmaz & Efe, 2000; Birol, 2005).

Safranbolu evleri örneğinde görüldüğü gibi, iç avlular, çıkmalar ve cumbalar; güneş ışığını, gölgeyi ve hava akımını dengede tutarak hem yaz hem de kış aylarında iklimsel konfor sağlamaktadır (görsel3.). Bu tasarım yaklaşımı, biyofilik tasarımın doğal havalandırma, gün ışığı kullanımı ve iç mekân yaşam kalitesini artırmaya yönelik uygulamaları ile büyük bir paralellik göstermektedir (Kellert et al., 2008; Söylemez, 2015; Beatley, 2011).



Görsel 3. Safronbolu evleri. (Anonymous 2025c)

Doğadan esinlenme olgusu hem geleneksel yerleşmelerin hem de biyofilik tasarımın temelinde yer alan ortak bir felsefedir. Antalya Kaleiçi'nde görülen dar, organik ve gölge sokaklar, sıcak yaz iklimine karşı pasif iklimlendirme çözümleri sunarken, biyofilik tasarım da benzer biçimde

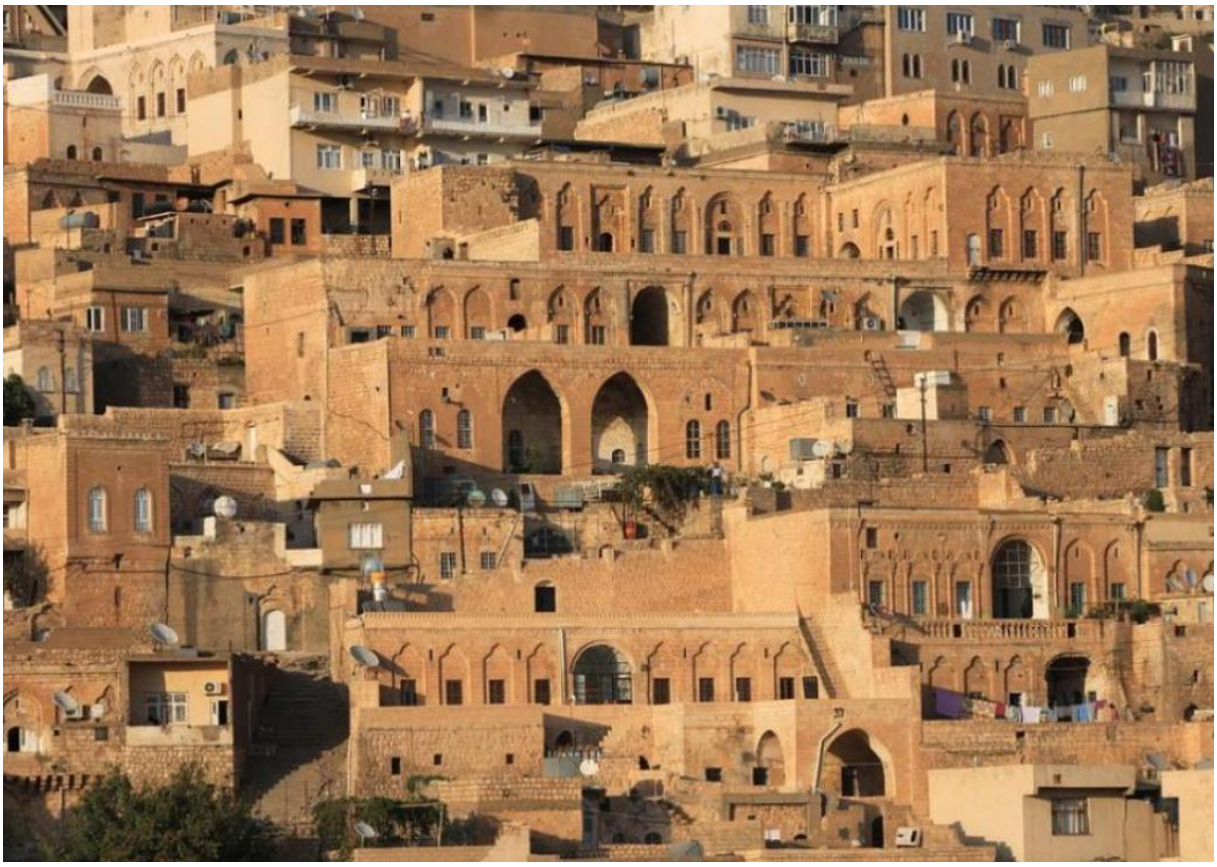
yeşil yollar, gölgelendirme elemanları ve geçirgen yüzeyler ile kentlerde ısı adası etkisini azaltmayı hedeflemektedir.

Osmanlı dönemi yerleşmelerinde görülen bahçeler, meyve ağaçları ve su öğeleri, insan-doğa etkileşimini güçlendiren ve psikolojik iyilik hâlini destekleyen mekânlar yaratmıştır (Kuban, 1995; Birol, 2005). Hemen her Türk kentinde görülen geleneksel bahçeler ise yalnızca estetik değil, aynı zamanda mikroiklim düzenleyici işlevleri ile de dikkat çekmektedir(görsel4.). Biyofilik tasarım bu geleneği, güncel iç ve dış mekân bitkilendirmeleri, su elemanları ve doğal dokular ile sürdürmektedir (Kellert et al., 2008; Beatley, 2011; Söylemez, 2015).



Görsel 4. Bursa Sümbüllü Bahçe Konağı (P.Kapar, 2006)

Mardin'in teraslı taş evleri gibi örneklerde, topografyaya uyum sağlama ve iklimsel dengeyi koruma amacı ile gerçekleştirilen tasarım kararları, biyofilik tasarımın da bugün yeşil çatılar, teras bahçeler ve biyolojik çeşitliliği destekleyen peyzaj uygulamaları ile sürdürdüğü doğa-insan bütünleşmesini yansıtmaktadır (Kuban, 1995; Eyüce, 1983; Kellert et al., 2008; Beatley, 2011; Söylemez, 2015)(görsel5.).



Görsel 5. Mardin konutları (Anonymous 2025d)

Sürdürülebilirlik kavramı hem geleneksel yerleşmelerin hem de biyofilik tasarımın ama hedefidir. Harran'daki kubbeli kerpiç evler, minimum enerji tüketimi ile maksimum oranda iklimsel konforu sağlayarak sürdürülebilir bir yaşam biçiminin mümkün olduğunu göstermektedir (Eyüce, 1983; Birol, 2005; Kuban, 1995). Biyofilik tasarım da enerji verimli sistemler ve yenilenebilir enerji kaynakları ile bu geleneği ileri taşımaktadır (Kellert et al., 2008; Beatley, 2011; Söylemez, 2015).

Anadolu'nun tüm yörelerinde kullanılan yerel malzeme olanakları, yerel kaynakların etkin kullanımını ve yapıların doğal çevreye zarar vermeden inşa edilmesi yanında sürdürülebilir kimliğini de sağlamaktadır. Bugün biyofilik tasarımında da yerel ve geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı, suyun yeniden kazanımı ve enerji verimliliği öncelikli uygulamalar genelinde kullanılan doğal yöntemler ile de benzerlik taşımaktadır.

Anadolu'nun kırsal yerleşmelerinde, tarım arazileri ve doğal su yollarını koruyarak yapılan yerleşme planları, doğal habitatların devamlılığını sağlamıştır (Kuban, 1995; Yılmaz & Efe, 2000). Biyofilik tasarım, bu yaklaşımı şehir ölçeğine taşıyarak, ekolojik koridorlar, yeşil altyapı sistemleri ve kent ekosistemlerini destekleyen uygulamalarla sürdürülebilir kentsel gelişimi hedeflemektedir (Beatley, 2011; Kellert et al., 2008; Söylemez, 2015).

Kültürel mirasın korunması da biyofilik ve geleneksel tasarımın kesiştiği önemli bir başka ortak alan olmaktadır. Konya, Beypazarı ve Şirince gibi yerleşmelerde görülen geleneksel dokular,

mimari ve doğal unsurların bütünlüğünü başarı ile yansıtmaktadır. Biyofilik tasarım, bu tarihi dokuları bugünün yaşam ihtiyaçlarına uyarlayarak geçmişi yaşatırken geleceğe de taşınmaktadır.

Doğa temelli yaşam alanlarının insan sağlığı üzerindeki olumlu etkileri de iki yaklaşımın ortak faydalarındandır. Geleneksel Anadolu konutlarındaki avlular, su öğeleri ve yeşil alanlar, sakinlerinin ruhsal ve bedensel rahatlığını desteklemiştir. Biyofilik tasarım bu faydayı bilimsel verilerle pekiştirerek, sağlık odaklı yaşam çevreleri yaratmaktadır. Türkiye'de kırsal ve kentsel geleneksel yerleşmelerde ekosistem hizmetlerinin sürekliliği gözetilmiştir. Kapadokya'da olduğu gibi doğal formasyonlara zarar verilmeden oluşturulan yapılar, biyofilik tasarımın da bugün sürdürebilir habitatlar yaratma çabasına örnek oluşturmaktadır.

Antalya ve Muğla'daki geleneksel taş evler, kalın duvarları ve küçük pencereleri ile yaz sıcaklarında serinlik sağlarken, biyofilik tasarım bu pasif sistemleri çağdaş teknolojik gelişmeler doğrultusunda enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmaktadır (Eyüce, 1983; Birol, 2005; Kuban, 1995; Kellert et al., 2008; Beatley, 2011)(görsel6. Ve görsel7.).



Görsel 6.Antalya taş evleri.(Anonymous 2025e)



Görsel 7.Muğla taş evleri. (Anonymous 2025f)

Diyarbakır Surları içinde yer alan dar sokak sistemi, doğal havalandırma ve gölgeleme ile kent içi serinlik sağlarken, biyofilik tasarım bu anlayışı yeşil çatılar, dikey bahçeler ve ağaçlandırmalar ile genişletmektedir (Kuban, 1995; Eyüce, 1983; Yılmaz & Efe, 2000; Kellert et al., 2008; Beatley, 2011)(görsel8.).



Görsel 8.Diyarbakır sokakları. (Anonymous 2025g)

Bu iki yaklaşımın entegrasyonu, çevre bilincinin gelişmesine de katkıda bulunmaktadır. Geleneksel yaşam kültüründeki doğaya saygılı üretim-tüketim alışkanlıkları, biyofilik tasarım uygulamaları ile çağdaş yaşam biçimlerine entegre edilerek sürdürülebilir yaşam kültürünü yaygınlaştırmaktadır.

Geleneksel yerleşmelerin pasif iklimlendirme yöntemleri, biyofilik tasarımın teknik alt yapısına yön vermektedir. Geleneksel bilgeliğin modern teknoloji ile birleşimi, çevre dostu yapılaşmanın yol haritasını oluşturmaktadır.

Biyofilik tasarım ve geleneksel yerleşmelerin çözüm ortaklığı, bugünün çevre sorunlarına karşı geliştirilecek stratejilerin de temelini oluşturmaktadır. Bu iki yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, hem insan sağlığı hem çevre sürdürülebilirliği hem de kültürel devamlılık açısından kapsamlı bir çözüm önerisi ortaya koymaktadır (Kellert, 2005; Kellert et al., 2008; Beatley, 2011; Söylemez, 2015).

Geleneksel yerleşmelerdeki doğa ile bütünleşik yaşam modeli, biyofilik tasarımın kuramsal ve pratik dayanağını oluşturmaktadır. Bu bütünleşik anlayış, yalnızca yapı ölçeğinde değil, kentsel ölçekte de yeni açılımlar sunmaktadır. Peyzaj mimarlığı disiplini açısından bu bütünleşik yaklaşım, geleceğin mekânsal vizyonunu belirleyecek niteliktedir. Geçmişin deneyimlerinden beslenen ve çağdaş biyofilik yaklaşımlarla zenginleşen tasarım stratejileri, yeni nesil yaşam alanlarının temelini oluşturmaktadır.

Biyofilik tasarım ilkeleri yeni bir yaklaşım olmayıp, aynı zamanda geleneksel mekân üretim kültürünün evrimi olarak görülmesi gerekmektedir. Bu bakış açısı, hem akademik literatürde hem de uygulama alanlarında derinleştirici katkılar sağlamaktadır. Geleneksel bilgelik ile biyofilik tasarımın entegrasyonu, kültürel kimliği ve çevre duyarlılığını birlikte ele alarak yeni bir tasarım dili oluşturmaktadır. Bu dil, yalnızca mimarlık ve peyzaj mimarlığı değil, kent planlama ve kentsel tasarım disiplinleri için de yenilikçi çözümler sunmaktadır.

Sonuç olarak, biyofilik tasarım ve geleneksel yerleşmelerin sentezi, doğadan ilham alan, sürdürülebilir, sağlıklı özgün ve kimlikli yaşam çevreleri oluşturmak adına güçlü bir potansiyele sahiptir. Bu anlayış, geleceğin kentlerinin daha yaşanabilir ve çevre dostu olmasına katkı sağlayacak önemli bir tasarım stratejisi olarak önemini korumaktadır.

7.KAYNAKÇA

(Anonymous 2025a) Web sitesi: https://www.wallpaper.com/architecture/residential/foxglove-house-kirkland-fraser-moor-uk
Erişim Tarihi:07.04.2025
(Anonymous 2025b) Web sitesi: https://www.arkitera.com/haber/bamyanda-avlulardan-olusan-bir-hastane/
Erişim Tarihi:07.04.2025
(Anonymous 2025c) Web sitesi: https://www.sixt.com.tr/blog/gezi-rehberi/turkiye-gezi-rehberi/tarihi-ve-turistik-safranbolu-hakkinda-bilgiler
Erişim Tarihi:07.04.2025
(Anonymous 2025d) Web sitesi: https://www.arge7.com/detay.php?id=773
Erişim Tarihi:07.04.2025
(Anonymous 2025e) Web sitesi: https://www.akdenizmanset.com.tr/tas-evler-ilgi-odagi
Erişim Tarihi:07.04.2025
(Anonymous 2025g) Web sitesi: https://gezmekguzelsey.com/surlarin-sehri-diyarbakir/
Erişim Tarihi:07.04.2025
Alexander, C. (1979). *Zamansız Yapı Biçimi*. Oxford Üniversitesi Yayınları.
Beatley, T. (2011). *Biophilic Cities: Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Island Press.
Birol, A. (2005). *Geleneksel Konutlarda İklime Uyumlu Tasarım İlkeleri*. İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.
Björk, S., & Klinger, C. (2014). İklime uyumlu geleneksel mimari: Akdeniz ve Orta Doğu'da geleneksel yapıların karşılaştırmalı bir çalışması. *Mimarlık ve Planlama Araştırmaları Dergisi*.
Çelik, Z. (2006). Geleneksel Türk Yerleşmelerinde Mimari ve Mekânsal Örgütlenme. *Mimarlık*, 340, 52-59.
Eyüce, A. (1983). *Geleneksel Türk Evinde Biçim ve İklim İlişkisi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
Fathy, H. (1986). *Doğal enerji ve geleneksel mimari: Sıcak ve kurak iklimlere yönelik ilkeler ve örnekler*. Chicago Üniversitesi Yayınları.
Gehl, J. (2011). *Binalar Arasında Hayat: Kamusal Mekânların Kullanımı*. Island Press.
Kellert, S. R. (2005). *Yaşam için Tasarlamak: İnsan-Doğa Bağlantısının Anlaşılması ve Tasarımı* (Çev. yok). Washington DC: Island Press.
Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (1993). *Biyofili Hipotezi* (Çev. yok). Washington DC: Island Press.
Köse, A. (2013). Anadolu'da Geleneksel Yerleşim Planlama İlkeleri. *Mimarlık ve Şehircilik Dergisi*, 22(1), 31-45.
Kuban, D. (1995). *Türk Mimarlığı*. İstanbul: Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları.
Kumar, S., vd. (2020). Sürdürülebilirliği teşvik etmede geleneksel yerleşmelerin rolü: Bir derleme. *Sürdürülebilirlik*..
Kültür ve Turizm Bakanlığı. (2010). *Türkiye'nin Kültürel Mirası: Geleneksel Yerleşmeler*. Ankara.
Marcus, C. C., & Barnes, M. (1999). *Şifa Bahçeleri: Terapötik Yararlar ve Tasarım Önerileri*. Wiley.
Mumford, L. (1961). *Tarihte Kent: Kökenleri, Dönüşümleri ve Gelecek Perspektifleri*. Harcourt, Brace & World.
Nassauer, J. I. (1996). Dağınık ekosistemler, düzenli çerçeveler. *Peyzaj Dergisi*, 15(2), 161–170.

Norberg-Schulz, C. (1980). *Mekan, Ruh ve Mimarlık: Genius Loci Üzerine Bir Fenomenoloji*. (Çev. yok). New York: Rizzoli Yayınları.

Özkan, S., & Yüksel, İ. (2018). Safranbolu'da Geleneksel Yerleşim ve Peyzaj İlişkisi. *Peyzaj Mimarlığı Dergisi*, 39(2), 101-113.

Petek Kapar - K. Kutgün Eyüpgiller (2006) Bursa Sümbüllü Bahçe Konağı Ve Müştemilatı Rekonstrüksiyon Süreci.

Rapoport, A. (1969). *Ev formu ve kültür*. Prentice-Hall.

Salingaros, N. A. (2015). *Biyofili ve iyileştirici ortamlar: Sağlıklı mekanlar tasarlamak için ilkeler*. Terrapin Bright Green.

Söylemez, A. (2015). *Biyofilik Tasarım İlkeleri ve Mekân Kalitesi Üzerine Etkisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Ulrich, R. S. (1984). "Pencereden Görüntünün Ameliyat Sonrası İyileşmeye Etkisi", Science, 224(4647), 420-421.

Wilson, E. O. (1984). Biyofili. Harvard Üniversitesi Yayınları.

Yıldırım, A. (2015). Biyofilik Tasarımın Kentsel Mekânda Uygulanabilirliği: Türkiye Örneği. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 8(37), 57-72.

Yılmaz, Ş., & Efe, R. (2000). "Türkiye'de Geleneksel Yerleşimlerde Su ve İklim İlişkisi", Coğrafya Dergisi, 2, 45-56.

Zevi, B. (1993). Mimarlık Mekan Olarak: Mimarlığa Nasıl Bakılır?. Horizon Press.

Zube, E. H., Sell, J. L., & Taylor, A. F. (1982). Peyzaj Algısı: Araştırma, Uygulama ve Teori. Peyzaj Planlama, 9(1), 1-33.

GELENEKSEL ANADOLU KONUT MİMARİSİ, YAPAY ZEKA VE GÜNCEL YORUMLAR

Prof. Dr. Elmas ERDOĞAN
Ankara Üniversitesi
eerdogan@ankara.edu.tr - 0000-0002-4193-629X
Elif Nur UCA
Ankara Üniversitesi
pm.elifnuruca@gmail.com - 0009-0007-5835-0125

ÖZET

Tarihsel süreç içinde doğal çevre, kültürel değerler ve yaşam pratikleri ile biçimlenen geleneksel mimari, yerel toplulukların çevre ile kurduğu ilişkinin en somut ve kalıcı göstergelerinden biridir. Bu mimari anlayış, sadece yapı üretimi değil; aynı zamanda sosyo-kültürel etmenlerin ve yerel kimliğin mekâna yansımasıdır. Diğer yandan yapay zekâya girilen parametreler, gelişmiş algoritmalar aracılığı ile büyük veri kümelerini işleyerek desen tanıma, öğrenme ve tahmin yapma yetenekleri doğrultusunda tasarım alanında yeni bir düşünsel açılım sunmaktadır. Bugün artık dijital teknoloji, geleneksel bilgi birikimini analiz etme, yeniden yapılandırma ve çağdaş bağlamda yorumlama süreçlerinde etkili bir araç hâline gelmiştir. Bu çalışma, geleneksel Anadolu konut mimarisinin tüm kadim bileşenleri ile kültürel, mekânsal ve estetik mirasının yapay zekâ destekli analiz ve yorumlama süreçleri aracılığı ile değerlendirilmesi, analiz edilmesi ve yeniden yorumlanarak üretilecek güncel tasarımları ifade etmektedir. Yüzyıllar boyunca iklim, topoğrafya, malzeme olanakları ve sosyo-kültürel etmenler doğrultusunda biçimlenen ve geleneksel mimari olarak da adlandırılan yerel konut dokusu, yalnızca fiziksel çevre oluşumu değil; aynı zamanda toplumsal bir bellek ve mekânsal ifade biçimidir. Bugün artık dijital teknolojiler, özgün yapım kültürünü yeni yöntemler ile okuma, yorumlama ve dönüştürme olanağı sunmaktadır. Bu bağlamda yapay zekâ, geleneksel mimarinin plan, cephe, detay verileri ve ilgili parametrelerden anlamlı tasarım yaklaşımları ve mekânsal örgütlenme biçimleri üreten ve kültürel kodları dijital ortamda çözümleyen bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu veriler hem mevcut mirasın korunmasına hem de çağdaş tasarımlara ilham verecek yaratıcı önerilerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Yapay zekâ burada yalnızca teknik bir analiz aracı değil; aynı zamanda kültürel süreklilik ile teknolojiyi buluşturan bir tasarım düşüncesi olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, mimarlık ve peyzaj mimarlığı disiplinlerinde yerel olan ile evrensel olan arasında yeni bir bağ kurma ve geleneksel olanı geleceğe taşıma potansiyeli taşımaktadır. Bu bildiride kadim kültürel bileşenlere sahip geleneksel Anadolu konutu ve Türk evi belirli algoritmalar ve parametreler kapsamında yapay zeka kullanılarak güncel yorumlar ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Anadolu konut mimarisi, geleneksel mimari, Anadolu konutu, yapay zeka, tasarım, Türk evi, geleneksel yerleşmeler

1. GİRİŞ

Geleneksel Anadolu konut mimarisi, tarihsel sürekliliği içinde biçimlenen ve yerel coğrafya, iklim, malzeme çeşitliliği ile toplumsal yaşam biçimlerinin etkisi ile olgunlaşan çok katmanlı bir mimari mirastır. Bu yapı ve mimarlık kültürü, yalnızca bir barınma biçimi değil; aynı zamanda kültürel kimliğin, toplumsal ilişkilerin ve doğal çevre ile kurulan dengenin mekânsal karşılığıdır. Anadolu'nun farklı bölgelerinde gelişen konut tipolojileri, yerelin koşullarına duyarlı çözümler üretmiş ve zaman içinde belirli plan şemaları, cephe düzenlemeleri ve yapım teknikleri ile çeşitlenmiştir. Bu bağlamda geleneksel konutlar, güncel yaşam gerekliliklerini sunan, sürdürülebilir ve toplumsal belleğin izlerini taşıyan yapılanmalardır.

Çağdaş tasarım yaklaşımlarında ise yerel olanın okunması, çoğu zaman biçimsel tekrarlar ile sınırlı kalmakta ve derin bağlam analizleri göz ardı edilmektedir (Frampton, 1983). Oysa geleneksel mimarlık örneklerinin anlaşılması, yalnızca fiziksel ögelerin değil; aynı zamanda mekân üretimindeki düşünsel arka planın da çözümlenmesini gerektirmektedir (Rapoport, 1969). Bu noktada yapay zekâ gibi dijital teknolojilerin sunduğu analiz ve modelleme olanakları, geleneksel mimarinin farklı katmanlarını yorumlamak adına yeni bir metodolojik zemin sunmaktadır (Pedreschi & Williams, 2018). Özellikle büyük veri setleri üzerinden örüntü tanıma ve sınıflandırma yapabilen algoritmalar, kültürel birikimi sayısallaştırarak özgün tasarım girdileri üretmeye olanak sağlamaktadır (Teboul et al., 2021). Yapay zekâ destekli analizler, geleneksel yapıların plan organizasyonu, cephe dili ve mekânsal hiyerarşileri gibi soyut verileri görünür kılmakta ve mimarlık ve kentsel tasarımda sezgisel olarak edinilen bilgilerin dijital ortamda yeniden üretimini sağlamaktadır (Stojanovski et al., 2022). Böylece, geleneksel mimarlık yalnızca geçmişe ait bir nostalji unsuru değil; çağdaş tasarım süreçlerinde etkili bir referans noktası olacaktır (Canizaro, 2007). Bu yaklaşım, tasarımcının sezgisel ve deneyimsel bilgisini, yapay zekânın sistematik analiz gücü ile bir araya getirerek hibrit bir okuma biçimi ortaya koymaktadır (Oxman, 2017).

Bu çalışmada, Anadolu'nun çeşitli yörelerinden seçilen geleneksel konut örnekleri üzerinden yapay zekâ algoritmaları ile yürütülen biçimsel ve mekânsal analizler aracılığı ile, gelenekselin dijital ortamdaki temsil gücü irdelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda hem kültürel sürekliliğe dayalı bir tasarım yaklaşımının olanakları irdelenmiş hem de yapay zekânın mimari yoruma katkı potansiyeli değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, çalışmanın temel amacı; geleneksel olanın yapay zekâ aracılığıyla yeniden okunabileceğini, yorumlanabileceğini ve geleceğe aktarılabilecek tasarım diline dönüştürülebileceğinin vurgulanmasıdır.

Bu kapsamda Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinden geleneksel doku ve yapı özelliklerini koruyarak planlanmış ve özgün bölgesel özelliklerini koruyan kentler araştırma kapsamında değerlendirilmiştir.

2. GELENEKSEL ANADOLU KONUT MİMARİSİ

Geleneksel Anadolu konut mimarisi, binlerce yıllık kültürel birikimin ve coğrafi çeşitliliğin etkisi ile şekillenmiş, çevre ile uyumlu ve kullanıcı gereksinimlerine cevap veren bir yapılaşma anlayışını yansıtmaktadır. Bu mimari yaklaşım, sadece yapının kendisini değil, aynı zamanda içinde konumlandığı yaşanılan çevre değerlendirmesini de içine alan bütüncül bir planlama ve

tasarım sistemine sahiptir. Özellikle konutların konumlandırılması, doğal topoğrafya ile ilişkisi, avlu düzenlemeleri ve bitkisel peyzaj öğeleri ile oluşturulan yaşam alanları, güncel peyzaj mimarlığı ilkeleri açısından dikkate değerdir (Kuban, 1995; Asatekin, 2005).

Anadolu coğrafyasında geleneksel konut mimarisi, doğal çevre ile kurduğu ilişki, yerel malzeme kullanımındaki çeşitlilik ve toplumsal yaşam biçimlerine dair mekânsal kurgular doğrultusunda her bir bölgeye özel, özgün mimari kimliklerin oluşmasına olanak sağlamıştır. Ülkemizin yedi coğrafi bölgesi hem iklimsel hem de sosyokültürel açıdan çeşitlilik gösterdiği için, konut mimarisi de her bölgede farklı bir yapı dili ve niteliği ile ifade bulmaktadır. Bu bağlamda, yerel mimarlığın sürece yayılan bu çok sesli yapısı, yapay zekâ temelli analizlerde veriye dayalı tasarım okumaları yapılması açısından oldukça zengin bir referans alanı sunmaktadır.

2.1.Marmara Bölgesi

Marmara Bölgesi, ülkemizin kuzeybatısında yer alarak Karadeniz, Ege ve İç Anadolu bölgeleri arasında doğal bir geçiş kuşağı oluşturmaktadır (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Bu konumu nedeni ile, iklim açısından hem Karadeniz'in nemli, hem İç Anadolu'nun kara iklimi özelliklerini, hem de Ege'nin ılıman etkilerini kısmen bünyesinde barındırmaktadır (Özdeniz & Sert, 1997; Koçyiğit, 2010). Bölgenin iklimsel çeşitliliği ve tarihî arka planı, geleneksel konut mimarisinde malzeme ve plan tipolojisi bakımından zengin ve karma bir yapı ortaya çıkarmıştır (Aslan, 2005; Bekleyen & Dalkılıç, 2011). Marmara Bölgesi'nde özellikle taş ve ahşap yapı malzemelerinin birlikte kullanıldığı karma yapım teknikleri gelişmiş; bu sentez hem iklime hem de sosyal yaşama uygun, uzun ömürlü ve estetik açıdan zengin konut kültürünü de beraberinde getirmiştir (Kuban, 1995; Yetkin, 1981). Marmara Bölgesi'nde özellikle Osmanlı konut kültürünün güçlü etkisi belirgindir (Eruzun, 1990; Aslan, 2005). Bu etki hem plan organizasyonunda hem de cephe karakterinde kendini göstermektedir (Koçyiğit, 2010; Bekleyen & Dalkılıç, 2011). Konut planlamasında simetrik ve merkezi sofalı (hayatlı) düzenler öne çıkmıştır (Kuban, 1995; Özdeniz & Sert, 1997). Bu plan tipolojisinde yapı, merkezde yer alan geniş bir sofa (hayat) etrafında simetrik şekilde dizilmiş odalardan oluşmaktadır (Aslan, 2005). Sofa, ailenin ve misafirlerin bir araya geldiği, gündelik sosyal yaşamın merkezi olan ortak kullanım mekânı olarak tasarlanmıştır (Yetkin, 1981; Koçyiğit, 2010). Bu mekânsal kurgu hem aile içi mahremiyeti sağlamakta hem de ortak yaşam kültürünü desteklemektedir (Eruzun, 1990; Bekleyen & Dalkılıç, 2011). Özellikle yaz ve kış kullanımını dengeleyen esnek iç mekân düzenleri, farklı iklim koşullarına uyum sağlama kabiliyeti göstermiştir (Aslan, 2005; Özdeniz & Sert, 1997).

Safranbolu, Marmara Bölgesi'nin bu geleneksel konut tipolojisini en sistematik ve en iyi korunmuş biçimde sergileyen yerleşme merkezlerinden biridir. Buradaki yapılar, yüksek bahçe duvarları ile çevrelenen avlular, çıkmalı katlar, geniş saçaklar, cumbalı cepheler ve detaylı ahşap bezemeleri ile dikkat çekmektedir. Ahşap işçiliği, pencerelerde, tavan göbeklerinde, kapı kanatlarında ve balkon korkuluklarında incelikle işlenmiş bezemelerle estetik bir kimlik kazandırmıştır. Çıkmalı kat düzeni sayesinde hem üst kat yaşam alanları genişletilmiş, hem de dar sokaklara karakteristik bir ritim ve görsel hareketlilik kazandırılmıştır. Sokak dokusu, dar

ve kıvrımlı yollarla şekillenirken, çıkmalar sayesinde üst kotlarda sosyal etkileşim ve mahalle dokusunun sürekliliği sağlanmıştır.

Safranbolu evlerinde genellikle iki ya da üç katlı bir mekânsal organizasyon görülmektedir. Alt katlarda depo, mutfak ve hizmet mekânları; üst katlarda ise yaşam alanları yer almaktadır. Katlar arası bu işlevsel ayrım hem günlük yaşamın düzenini kolaylaştırmakta hem de iklimsel gereksinimlere uygun yaşam koşulları sağlamaktadır. Ayrıca evlerin avlulu yapısı hem doğal havalandırma hem de ışık kontrolü açısından avantaj sağlamaktadır.

Marmara Bölgesi'nde Osmanlı kent mimarisinin önemli merkezlerinden olan Bursa ve Edirne'de görülen geleneksel konut örnekleri ise farklı bir mekânsal düzenleme içermektedir (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Bu kentlerdeki geleneksel konutlar, çoğunlukla revaklı iç avlular ile çevrili plan şemalarına sahiptir (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010). Avluların etrafını çevreleyen revaklar, hem avlunun kullanımını dört mevsime uygun hale getirmiş hem de avluya bakan mekânlar arasında kontrollü geçiş sağlamıştır (Bekleyen & Dalkılıç, 2011; Özdeniz & Sert, 1997). Bursa ve Edirne'de konut-mescit-hamam gibi yapı türleri zaman zaman aynı parsel içinde, avlu düzeni ile bütünleştirilmiş bir kompleks yapılaşma modeli sunmuştur (Yetkin, 1981; Kuban, 1995). Bu bütünleşik yapılaşma, Osmanlı sosyal yaşamının ve gündelik hayat örgüsünün mekâna nasıl yansıdığını somut bir biçimde ortaya koymaktadır (Eruzun, 1990; Aslan, 2005).

Bölgedeki yapıların inşasında taş malzeme çoğunlukla zemin katlarda, ahşap malzeme ise üst katlarda tercih edilmiştir. Bu katmanlı malzeme kullanımı hem yapısal dayanıklılığı artırmış hem de yangına ve nem etkisine karşı koruma sağlamıştır. Ahşap yapı elemanları ise esnek yapısı sayesinde depreme karşı dayanıklı çözümler üretmiştir.

Marmara Bölgesi'nin geleneksel konut mimarisi, iklim geçiş kuşağının sunduğu çeşitlilik, Osmanlı konut geleneğinin plan kurgusu ve yerel malzeme sentezi ile Anadolu'nun konut mimari mirası içinde özgün ve zengin bir örnek teşkil etmektedir. Safranbolu, Bursa ve Edirne örnekleri, bu geleneğin hem teknik hem de kültürel açıdan olgunlaşmış ve sistematikleşmiş uygulamalara sahiptir.

2.2.Ege Bölgesi

Ege Bölgesi, ülkemizin batısında yer alıp Akdeniz ikliminin ılıman özelliklerini taşıyan, yazları sıcak ve kurak, kışları ise ılıman ve yağışlı geçen bir iklim kuşağında yer almaktadır. Bölgenin bu karakteristik iklim yapısı, geleneksel konut mimarisinin biçimlenmesinde belirleyici faktörlerden biri olmuştur. Doğal çevre ile uyumlu, iklim koşullarına cevap verebilen ve sosyal yaşamın gereksinimlerini karşılayabilen konut tipolojileri ortaya çıkmıştır. Özellikle Muğla, İzmir (Alaçatı), Foça, Kuşadası, Tire, Bodrum ve Birgi (Ödemiş) gibi tarihî yerleşmelerde rastlanan konutlar, Ege Bölgesi'nin zengin mimari mirasını yansıtan önemli örnekler arasında yer almaktadır.

Ege Bölgesi'nin geleneksel konutlarında yapı malzemesi seçiminde yerel kaynakların kolay erişilebilirliği etkili olmuştur. Bölgede yaygın olan kalker, andezit gibi taş türleri, yapıların ana

malzemesi olarak kullanılmış; taş duvarlar hem taşıyıcı sistemde hem de dış cephe kaplamasında yoğun şekilde tercih edilmiştir. Taşın tercih edilme nedenlerinden biri yalnızca dayanıklılığı değil, aynı zamanda yüksek ısı kütlesi sayesinde yaz aylarında iç mekânları serin, kış aylarında ise sıcak tutma özelliğidir. Bu durum, iklim ile uyumlu pasif ısıtma ve soğutma çözümleri üretme ihtiyacından kaynaklanmıştır. Ayrıca taşın doğal dokusu ve rengi, yapıların çevre ile bütünleşmesini sağlamış; estetik anlamda sade ve zarif bir mimari dilin oluşmasına katkıda bulunmuştur.

Plan şeması açısından Ege Bölgesi'nde avlulu ve dışa dönük konut tipolojileri görülmektedir. Evlerin merkezinde yer alan avlular, hem iklimsel hem de kültürel işlevleri açısından büyük önem taşımaktadır. Güneşin etkisini azaltmak, yaz aylarında serin hava sirkülasyonu sağlamak ve mahremiyeti korumak amacıyla avlular, yaşamın önemli bir parçası haline gelmiştir. Özellikle dar sokakların çevrelediği bu konutlarda avlular, aile bireylerinin bir arada vakit geçirebildiği, tarımsal ürünlerin işlendiği, gündelik ev etkinliklerinin gerçekleştiği çok amaçlı yarı mekânlar olarak kullanılmıştır.

Sofalar da bu konutların en önemli mimari bileşenidir. Genellikle evin girişinde ya da avluya açılan konumda bulunan sofalar, yaz aylarında gölge ve serinlik sağlarken aynı zamanda geçiş mekânı işlevi de üstlenmektedir. Sofaların üzeri geniş saçaklar ile örtülerek hem güneş ışınları hem de yağışlardan korunma sağlanmıştır. Ahşap destekler üzerine kurulu saçaklar ve balkonlar, taş yapıların dokusunu yumuşatarak mimariye estetik bir hareketlilik kazandırmıştır.

Cephe tasarımı açısından, Ege evlerinde geniş pencereler, cumbalar, renkli ahşap doğramalar ve detaylı metal korkuluklar sıkça kullanılmıştır. Bu mimari öğeler yalnızca estetik değil, aynı zamanda işlevseldir. Örneğin, cumbalar sokakla görsel temas sağlar; metal korkuluklar havalandırma ve güvenlik sağlamaktadır. Cephedeki ahşap doğramalar, bölgenin yerel marangozluk geleneğinin güçlü bir yansımasıdır. Boyalı ve oymalı ahşap panjurlar, güneş kontrolü sağlarken cephelerin estetik değerini artırmaktadır.

Ege Bölgesi'ndeki bu geleneksel konutlar genellikle iki katlıdır (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Alt katta depo, mutfak ve çeşitli servis alanları bulunurken; üst katlar yaşam ve dinlenme alanı olarak kullanılmaktadır (Aslan, 2005; Özdeniz & Sert, 1997). Bu katmanlı kurgu, hem kullanım kolaylığı sağlar hem de iklimsel ihtiyaçlara uygun bir yaşam düzeni oluşturmaktadır (Koçyiğit, 2010; Bekleyen & Dalkılıç, 2011). Özellikle yaz aylarında üst katlarda yer alan yüksek tavanlı ve bol havalandırmalı odalar sayesinde konforlu iç mekânlar yaratılabilmiştir (Yetkin, 1981).

Bütün bu özellikler, Ege Bölgesi'nde geleneksel konut mimarisinin yalnızca fiziksel değil; aynı zamanda sosyal, kültürel ve ekonomik koşullarla da doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir (Kuban, 1995; Aslan, 2005). Yapılar, iklim koşullarına uyum sağlarken aynı zamanda mahalle ölçeğinde güçlü komşuluk ilişkilerinin, açık mekân etkileşimleri ve paylaşım kültürünün de mekânsal yansımalarını sunmaktadır (Eruzun, 1990; Özdeniz & Sert, 1997). Bu nedenle Ege'nin geleneksel konutları, Anadolu konut mimarisi içinde kendine has estetik ve işlevsel değerleri ile özel bir konumda yer almaktadır (Yetkin, 1981; Koçyiğit, 2010).

2.3.Akdeniz Bölgesi

Ülkemizin güney sahil şeridinde, Akdeniz ikliminin etkisinin daha yoğun hissedildiği Antalya Kaleiçi, Silifke ve Tarsus gibi tarihî yerleşme merkezlerinde, geleneksel konut mimarisi iklimsel gereksinimler ve yerel yaşam kültürü doğrultusunda biçimlenmiştir. Bu bölgelerde uzun ve sıcak yaz mevsimi, yüksek nem oranı ve bol güneş ışığı, yapıların tasarımında gölgeleme, doğal havalandırma ve içe dönük avlu düzeninin öne çıkmasına neden olmuştur. Geleneksel konutlar, çevresel koşullara duyarlı plan şemaları, malzeme seçimleri ve mekânsal organizasyonları ile, hem kullanıcının termal konforunu sağlamak hem de sosyal yaşam biçimini desteklemek amacı ile geliştirilmiştir.

Antalya Kaleiçi, Silifke ve Tarsus örneklerinde sıkça karşılaşıldığı üzere, sokak dokusu dar ve kıvrımlı yollarla karakterize edilmiştir. Bu dar sokaklar, güneş ışığının doğrudan zemine ulaşmasını engelleyerek gündüz saatlerinde serin bir mikroklima yaratmakta ve sokak seviyesindeki sıcaklığı azaltmaktadır. Sokaklara bakan konutların yüksek taş duvarları hem güneşten korunma hem de mahremiyet sağlama işlevi görürken, aynı zamanda güvenlik de sağlamaktadır. Bu duvarların ardında, çoğunlukla avlulu ve içe dönük plan düzenine sahip konutlar yer almaktadır.

Konutların zemin katları genellikle yığma taş sistem ile inşa edilmiştir (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Burada mutfak, ambar, depo ve servis alanları gibi daha serin tutulması gereken mekânlar konumlandırılmıştır (Aslan, 2005; Özdeniz & Sert, 1997). Taş duvarların masif yapısı, ısı geçişini yavaşlatarak alt katlarda günün sıcak saatlerinde bile serin ortamlar sağlamaktadır (Bekleyen & Dalkılıç, 2011). Üst katlar ise çoğunlukla ahşap karkas sistemle inşa edilmiş ve yaşam mekânları olan oturma odaları ve yatak odaları burada yer almıştır (Koçyiğit, 2010). Ahşap çıkmalar (cumba ve balkonlar), üst katlarda yaşam alanını genişletirken aynı zamanda sokakla görsel ve mekânsal bir etkileşim kurulmasına imkân tanımıştır (Yetkin, 1981; Kuban, 1995). Bu çıkmalar dar sokakların üzerini kısmen kapatarak gölge oluşturmakta ve yaz aylarında sokak seviyesindeki sıcaklığı azaltıcı bir mikroklima yaratmaktadır (Aslan, 2005; Özdeniz & Sert, 1997).

Avlular, bölgenin konut mimarisinde hem işlevsel hem de sosyal açıdan kritik öneme sahiptir (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). İç avlular, doğrudan güneş ışığını filtre ederek kontrollü ışık alımı sağlamakta ve doğal havalandırmaya olanak tanıyarak yapı içinde doğal serinlik oluşturmaktadır (Bekleyen & Dalkılıç, 2011; Özdeniz & Sert, 1997). Bu avlular aynı zamanda ailenin günlük yaşam etkinliklerini gerçekleştirdiği, yemek yediği, dinlendiği ve komşularla sosyal ilişkiler kurduğu çok amaçlı açık yaşam alanlarıdır (Koçyiğit, 2010). Bitkiler, su unsurları ve taş döşemeler ile zenginleştirilen avlular, sıcak yaz günlerinde ferahlık ve görsel rahatlık sağlamaktadır (Aslan, 2005; Yetkin, 1981). Özellikle turunçgiller ve sarmaşık türleri, avlularda gölgeleme ve doğal serinlik sağlayan önemli peyzaj unsurlarıdır (Kuban, 1995). Geleneksel plan kurgusunda mekânların yerleşmesi de iklim koşulları ile uyumlu olarak düzenlenmiştir (Özdeniz & Sert, 1997). Gündelik yaşamın temposuna uygun olarak; sabahları doğu cephede, öğlen ve akşam saatlerinde ise batı ve kuzey yönlü odalarda yaşam sürdürülmektedir (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010). Bu mekânsal kullanım esnekliği, gün içindeki sıcaklık değişimlerine karşı adaptasyonu kolaylaştırmaktadır (Bekleyen & Dalkılıç, 2011).

Geniş saçaklar, ahşap kepenkli pencereler ve pergolalar da güneş kontrolünde önemli işlevler üstlenmektedir (Yetkin, 1981; Kuban, 1995).

Antalya Kaleiçi, Silifke ve Tarsus gibi yerleşme merkezlerinde görülen geleneksel konut mimarisi, Akdeniz'in sıcak ve nemli iklim koşullarına uyumlu olarak geliştirilmiş, doğal havalandırma, gölgeleme ve iç avlu düzenini merkezine alan dengeli ve sürdürülebilir bir yapı kültürünü yansıtmaktadır. Bu konutlar, yalnızca iklimle uyumlu fiziksel çözümler değil, aynı zamanda aile yaşamının, komşuluk ilişkilerinin ve mahalle ölçeğinde sosyal etkileşimin mekâna yansımasını gösteren Anadolu konut mimarisinin zengin çeşitliliği içinde ayrıcalıklı bir yere sahiptir.

2.4.İç Anadolu Bölgesi

İç Anadolu Bölgesi, yarı kurak iklimi, geniş bozkır düzlükleri, volkanik oluşumlu arazileri ve kışları soğuk, yazları sıcak ve kurak iklim koşullarıyla ülkemizin özgün coğrafi ve iklimsel bölgelerinden biridir. Bu coğrafi ve iklimsel koşullar, bölgenin geleneksel konut mimarisinin biçimlenmesinde belirleyici olmuştur. Karasal iklimi nedeni ile kış aylarında ısı yalıtımının öncelik taşıması, yaz aylarında ise sıcaklığın dengelenmesi gerekliliği, yapı malzemesi ve mekânsal kurgunun temel belirleyicileri olmuştur. Bu doğrultuda, bölgede inşa edilen geleneksel konutlarda yerel taş ve kerpiç malzeme yaygın biçimde kullanılmıştır. Her iki malzeme de yerel kaynaklardan kolaylıkla temin edilebilmekte, düşük maliyetli ve işlenebilir olmaları nedeni ile tercih edilmektedir.

Kerpiç, özellikle İç Anadolu Bölgesinin Konya kentinde yaygın olarak kullanılmıştır. İç Anadolu'nun kuru ve sıcak yazları ile soğuk kışlarına karşı mükemmel bir doğal yalıtım sağlamaktadır. Güneş ışığını gündüz depolayarak ısısını gece boyunca ortama yaymakta, böylece iç mekân sıcaklığını dengede tutmaktadır. Yaz aylarında ise iç mekânları serin tutarak kullanıcı konforunu artırmaktadır. Taş ise dayanıklı yapısı ile taşıyıcı sistemlerde ve özellikle temel, duvar ve dış cephe uygulamalarında yörede tercih edilmiştir. Kerpiç ve taşın birlikte veya ayrı ayrı kullanımı, yapıların uzun ömürlü ve iklim koşullarına uygun olmasına katkı sağlamıştır.

Plan tipolojisi açısından değerlendirildiğinde, Konya, Kayseri ve Nevşehir gibi İç Anadolu Bölgesi kentlerinde genellikle iç sofalı ve U-planlı konut düzenleri yaygındır (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Bu tip plan organizasyonunda sofa, yapı kütlesinin merkezinde konumlandırılmış kapalı bir mekân olarak yer almakta ve odalar bu merkezi mekân etrafında sıralanmaktadır (Aslan, 2005). Merkezi sofaya açılan odalar, aile bireylerinin ortak yaşam alanını merkezde paylaşmasına imkân verirken, mahremiyet ve ısı yönetimi açısından da avantaj sağlamaktadır (Koçyiğit, 2010; Özdeniz & Sert, 1997). Özellikle kapalı sofa düzeni, soğuk ve rüzgârlı kış aylarında merkezi mekânın kolay ısınmasını sağlamakta; içe dönük kurgusu sayesinde soğuk dış hava ile temas minimum seviyeye indirilmektedir (Bekleyen & Dalkılıç, 2011). Aynı zamanda bu kapalı iç sofa, aile yaşantısının merkezinde yer alan sosyal etkileşim mekânı olarak işlev görmüştür (Yetkin, 1981).

İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Kapadokya, bölgenin konut mimarisi açısından belirgin bir farklılaşma göstermektedir. Kapadokya'nın volkanik kayaçlardan oluşan benzersiz jeomorfolojik yapısı, insan yerleşmesi ve konut yapımında özgün çözümler geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bu bölgede, yumuşak tüf kayalarının kolay işlenebilir yapısı sayesinde kaya oluşumları oyularak konut, depo, şapel ve hatta yer altı şehri inşa edilmiştir. Kapadokya'daki mağara evler, doğa ile bütünleşen ve çevresel kaynakları sürdürülebilir şekilde kullanan yapılaşma örnekleri arasındadır. Doğal topografyaya uyumlu olarak biçimlenen arazi ile planlı konutlar, mütevazı ve sade bir görünüm sergilerken, iç mekânda oldukça zengin, işlevsel ve çok katmanlı mekânsal organizasyonlar barındırmaktadır. Bu mağara konutlarda plan şeması, doğrudan kayanın doğal formuna bağlı olarak şekillenmekte ve dışarıdan okunabilirliği zorlaşmaktadır. Odaların ve geçiş mekânlarının konumu, kayanın özelliklerine ve kullanıcı gereksinimlerine göre belirlenmektedir. Organik plan düzeni sayesinde mekanların termal konforu da doğal yollar ile sağlanmakta; yazın serin, kışın ise sıcak bir iç ortam oluşturulmaktadır. Ayrıca mağara konutların kalın kaya duvarları, hem ısı yalıtımı hem de doğal afetlere (örneğin şiddetli fırtına, kar, sıcaklık dalgalanmaları) karşı yüksek dayanım sağlamaktadır. Nevşehir ve çevresindeki bu mağara yerleşmeleri, sadece mimari değil, aynı zamanda sosyo-kültürel yaşam biçiminin de somut bir yansımasıdır.

İç Anadolu Bölgesi'nin geleneksel konut mimarisi, malzeme seçimi, mekânsal organizasyon ve çevresel uyum bakımından Anadolu'nun konut mimarisi çeşitliliği içinde özgün ve önemli bir yere sahiptir (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Doğal kaynakların rasyonel kullanımı, iklim koşullarına duyarlı tasarım ve toplumsal yaşam biçimi, bölge mimarisinin temel karakterini belirleyen unsurlar arasında yer almaktadır (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010; Özdeniz & Sert, 1997).

2.5.Karadeniz Bölgesi

Anadolu'nun kuzey kuşağında yer alan Karadeniz Bölgesi, yoğun orman örtüsü, bol yağışlı iklimi ve yüksek nem oranı ile dikkat çeken özgün bir coğrafi yapıya sahiptir. Özgün çevresel koşullar, bölgenin geleneksel konut mimarisini biçimlendirirken zengin orman kaynakları, yapı malzemesi tercihlerinde belirleyici olmuş; ahşap, iskelet sistemi arası taş dolgu sistemi (göz dolma) kullanılmıştır. Bölgenin kıyıya paralel uzanan yüksek dağ sıraları, yerleşme alanlarının çoğunlukla eğimli ve engebeli araziler üzerinde gelişmesine olanak sağlamıştır. Mimari tasarımda arazi eğimi belirleyici olmuş; konutlar genellikle teraslama yöntemi ile arazinin doğal yapısına uyum sağlayacak şekilde konumlandırılmıştır. Böylece hem topografyanın zorlukları avantaja dönüştürülmüş hem de yapıların stabilitesi arttırılmıştır.

Karadeniz Bölgesi'nin özellikle Rize, Trabzon ve Artvin gibi illerinde yaygın olarak görülen konutlar, genellikle zemin katı yığma taş ile inşa edilmiş, üst katlarında ise ahşap karkas sistem arası taş dolgu kullanılmıştır. Zemin katın taş malzemeden yapılması, hem eğimli arazide yapının daha güçlü olması hem de sürekli nemli ortamdan kaynaklanabilecek zararları minimize etme amacı ile gerçekleştirilmiştir. Üst katlarda kullanılan ahşap ise, bölgedeki orman varlığı nedeni ile kolay temin edilebilirliği ve işlenebilirliği amacı ile tercih edilmiştir. Ahşabın bu yapılardaki kullanımında, oyma, geçme ve kilitli birleşim gibi geleneksel yapım teknikleri öne çıkmaktadır. Söz konusu el işçiliği, sadece yapısal bütünlük değil, aynı zamanda estetik

zenginlik de sağlamaktadır. Özellikle cephelerde, pencere pervazlarında, korkuluklarda ve saçak altlarında görülen ahşap bezeme detayları, Karadeniz konutlarını karakteristik ve özgün kılmaktadır.

Mekânsal organizasyon açısından değerlendirildiğinde, bölge konutlarında genellikle dış sofalı plan tipinin yerel nem nedeni ile yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu plan tipinde sofa, evin dış cephesinde yer almakta ve odalar bu sofanın etrafında konumlanmaktadır. Sofanın dışa açılımı hem iklimsel hem de işlevsel gerekliliklerin sonucu olarak gelişim göstermektedir. Bol yağışlı ve nemli iklim koşulları nedeni ile geniş saçaklar tasarlanmış; bu saçaklar, hem cepheyi doğrudan yağıştan korumuş hem de sofada yarı açık bir yaşam alanı oluşturmuştur. Sofalara erişilen odalar, gün ışığından maksimum düzeyde yararlanma ve doğal havalandırmayı sağlama işlevi görmektedir. Ayrıca mutfak (ocaklık), kiler ve oturma alanları gibi iç mekânlar, gereksinim doğrultusunda kurgulanmıştır.

Bütün bu özellikler, Karadeniz konutlarının yalnızca yapı tekniği açısından değil, aynı zamanda yaşam kültürü ve çevre ile kurulan ilişki açısından da özgün bir mimari doku oluşturmaktadır. Konutlar, hem doğal çevreye saygılı hem de kullanıcılarının günlük yaşam gereksinimlerine duyarlı bir tasarım anlayışının ürünüdür. Bu bağlamda Karadeniz Bölgesi'nin geleneksel konut mimarisi, Anadolu'nun zengin konut kültürü kapsamında özgün bir kimliğe sahiptir.

2.6. Doğu Anadolu Bölgesi

Doğu Anadolu Bölgesi, sahip olduğu sert kara iklimi, uzun ve soğuk kış mevsimi, yüksek rakım ve geniş plato coğrafyası ile belirgin çevresel koşullar sergilemektedir. Bu sert iklimsel koşullar, bölgedeki geleneksel konut mimarisini biçimlendiren temel belirleyicilerden biri olmuştur. Özellikle kış aylarında sıcaklıkların uzun süre eksi değerlerde olduğu bu coğrafyada, konut tasarımında öncelikli amaçlardan biri iç mekânların sıcak tutulması, ısı kaybının minimize edilmesi ve dış ortamdan gelen zorlu hava koşullarına karşı korunmadır. Bu doğrultuda, yığma sistem ile inşa edilmiş, kalın taş duvarlı, kompakt ve içe dönük yapılar bölge mimarisinin karakteristik özelliklerinden biridir. Taş malzeme, bölgede yaygın olarak kullanılır ve yerel doğal bir kaynak sağlarken; yüksek ısı yalıtımı sağlayan bir yapı gerçeğidir Genellikle bazalt, kalker ya da tüf gibi yerel kaynaklardan sağlanmakta; işlenmesi görece kolay olduğundan yaygın biçimde tercih edilmektedir. Kalın taş duvarlar yalnızca ısı yalıtımı değil, aynı zamanda yapıların statik dayanımını ve uzun ömürlü olmasını da sağlamaktadır. Bu duvarlar, kışın soğuk havaya karşı koruyucu bir bariyer görevi görmekte; yaz aylarında ise yapının iç sıcaklığını dengede tutarak serin bir iç mekân ortamı sunmaktadır.

Mekânsal organizasyon açısından değerlendirildiğinde, Erzurum, Van ve Kars gibi illerdeki geleneksel konutlar, genellikle iç avlu etrafında konumlanan mekanlardan oluşan içe dönük plan tipolojisine sahiptir (Eruzun, 1990; Kuban, 1995). Bu avlular, günlük yaşamın önemli bir bölümünün geçtiği açık mekânlar olarak işlev görürken, kış aylarında korunaklı alanlar sunmaktadır (Özdeniz & Sert, 1997). Merkezi ısıtma elemanları ise bu mimari düzenlemenin temel bileşenlerinden biridir (Yetkin, 1981). Özellikle ocaklı odalar ve tandır uygulamaları, hem yemek pişirme hem de ısınma işlevini bir arada yürütürken, ısının mekâna dengeli bir şekilde yayılmasını sağlamaktadır (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010). Isıtma elemanlarının mekânın

merkezinde konumlanması, ısının tüm odalara eşit dağılımını kolaylaştırmakta ve enerji verimliliğini artırmaktadır (Bekleyen & Dalkılıç, 2011).

Girişler, genellikle yüksek taş duvarlar ile çevrilmiş ve dışa kapalı şekilde tasarlanmıştır. Bu yüksek duvarlar, hem soğuk rüzgârlara karşı koruma sağlar hem de mahremiyeti önceleyen sosyo-kültürel anlayışın bir yansıması olarak işlev görür. Mahremiyetin bu denli ön planda tutulması, aile yapısının ve toplumsal yaşam biçimlerinin mimari mekâna doğrudan yansımasının bir sonucudur. Konutların dışa kapalı yapısı, aynı zamanda güvenlik ve korunma amacı da taşımaktadır.

Çatılar ise çoğunlukla düz formda inşa edilmiştir (Kuban, 1995; Aslan, 2005). Bu düz çatı formları, kar yükünü dengeleyebilme kapasitesi ve yaz aylarında ek yaşam alanı olarak kullanılabilme avantajları nedeni ile tercih edilmiştir (Özdeniz & Sert, 1997). Yaz aylarında düz çatılar, kurutma, depolama ve dinlenme gibi çeşitli günlük işlevleri yerine getiren çok amaçlı mekânlara dönüşebilmektedir (Bekleyen & Dalkılıç, 2011). Ayrıca düz çatılar, yapıların kompakt kütlesi ile birleşerek ısı kaybını minimuma indiren aerodinamik bir yapı bütünlüğü sağlamaktadır (Eruzun, 1990).

Doğu Anadolu Bölgesi'nin geleneksel konutları, sert iklim koşullarına karşı geliştirilmiş yapısal çözümler ile sosyo-kültürel gereksinimlerin dengeli biçimde harmanlandığı önemli bir mimari miras örneğidir (Koçyiğit, 2010). İklim, coğrafya, kültür ve yaşam tarzının etkisi ile şekillenen bu konutlar, Anadolu'nun çeşitlilik içeren konut mimarisi örnekleri arasında kendine özgü bir kimlik kazanmıştır (Yetkin, 1981).

2.7.Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, ülkemizin en sıcak ve en kurak iklim koşullarına sahip coğrafyalarından biridir. Yaz aylarının uzun, sıcak ve kurak, kış aylarının ise kısa ve nispeten ılık geçtiği bu bölgede, iklimle uyumlu, doğal çevreye ve sosyal yaşama entegre olmuş bir konut morfolojisi gelişmiştir. Bölgenin tarihsel, kültürel ve dini çeşitliliği kapsamında gelişmiş olan geleneksel konut mimarisi; hem çevresel koşullara cevap veren işlevsel çözümleri, hem de estetik ve simgesel anlamlar taşıyan mimari detaylarıyla dikkat çekmektedir. Özellikle Mardin, Diyarbakır ve Şanlıurfa gibi tarihî kent merkezlerinde görülen geleneksel konutlar, bu bölgenin zengin yapı kültürünün en tanımlı örneklerini sunmaktadır.

Bölgenin doğal kaynağı olan kireçtaşı ve bazalt gibi taş malzemeler, konut inşasında temel yapı malzemesi olarak kullanılmıştır (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Taş, hem yüksek ısı kütlesi kapasitesi sayesinde iç mekânların yaz aylarında serin kalmasını sağlamakta hem de uzun ömürlü ve dayanıklı bir yapı malzemesi olması nedeni ile tercih edilmektedir (Özdeniz & Sert, 1997; Aslan, 2005). Kalın taş duvarlar, gün boyunca güneş ışınlarını emip gece boyunca bu ısıyı dışarıya salarak yapı içinde dengeli bir sıcaklık rejimi oluşturur (Bekleyen & Dalkılıç, 2011; Koçyiğit, 2010). Ayrıca taş, kolay işlenebilirliği sayesinde zengin süsleme detaylarına ve estetik bezemelere olanak tanımıştır (Yetkin, 1981; Kuban, 1995). Özellikle cephelerde görülen taş oymacılığı ve geometrik desenler, bölgenin ustalık geleneğini ve estetik anlayışını yansıtan önemli unsurlar arasında yer almaktadır (Eruzun, 1990; Aslan, 2005).

Plan şeması bakımından Güneydoğu Anadolu konutlarında genellikle içe dönük, avlulu düzenler hâkimdir. Konutlar yüksek taş duvarlarla çevrelenmiş olup dışa kapalı, içe dönük mekânsal bir kurguyla şekillenmiştir. Bu yüksek duvarlar hem mahremiyet sağlar, hem de dışarıdan gelen sıcak rüzgâr ve toz etkisini azaltıcı tampon işlevi görür. İç avlu, yapı içindeki yaşamın merkezini oluşturmakta; ailenin sosyal yaşamı, gündelik aktiviteleri ve mevsimsel gereksinimleri avlu etrafında düzenlemektedir. Avluya bakan kemerli revaklar ve gölge geçiş alanları, avlunun kullanımını dört mevsim boyunca sürdürülebilir kılmaktadır. Ayrıca avluda sıklıkla kullanılan su unsurları ve bitki düzenlemeleri, sıcak ve kurak iklim koşullarına karşı mikroklimatik konfor sağlamaktadır.

Mekânsal organizasyonda genellikle merkezi sofa (hayat) etrafında dizilmiş odalar bulunur. Bu merkezi sofa, hem yaşam alanları arasında geçiş noktası, hem de ortak sosyal etkileşim mekânı olarak işlev görür. Sofanın etrafına yerleştirilen odalar arasında oturma, uyuma, mutfak ve depo gibi işlevler mekânsal olarak ayrıştırılmıştır. Katmanlı ve esnek kullanım düzeni, hem kalabalık aile yapısına uyum sağlar hem de günlük yaşamın değişken ihtiyaçlarına cevap verebilir niteliktedir.

Cephe tasarımında taş işçiliği son derece önemlidir (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Mardin ve Urfa'da özellikle ön cephelerde uygulanan taş oymacılığı; geometrik motifler, yazıtlar ve bitkisel bezemelerle zenginleştirilmiştir (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010). Bu süsleme geleneği, konutlara adeta anıtsal bir görünüm kazandırmakta; konut mimarisini sadece işlevsel bir yapı olmaktan çıkarıp kültürel kimliği yansıtan bir sanat eseri hâline dönüştürmektedir (Yetkin, 1981; Özdeniz & Sert, 1997). Ayrıca kemerli açıklıklar hem estetik hem de yapısal bütünlük sağlayarak güneş ışığını kontrollü biçimde iç mekâna alır ve aynı zamanda avluda oluşan sıcak havanın yukarı doğru yükselerek doğal havalandırma yaratmasına yardımcı olur (Bekleyen & Dalkılıç, 2011; Aslan, 2005).

Güneydoğu Anadolu'daki geleneksel konutlar, sıcak ve kurak iklimin zorluklarını ustalıkla aşan, sosyal yaşam kültürü ile uyumlu, estetik kaygıları da barındıran özgün bir mimari sistem ortaya koymuştur. Yapıların içe dönük kurgusu, avlulu yaşam düzeni, taş işçiliği ve merkezi sofa etrafındaki plan organizasyonu; bölgenin tarihsel ve kültürel kodları ile bütünleşerek Anadolu konut mimarisi içindeki özgün kimliğini korumuştur. Anadolu kent mimarisi, binlerce yıllık kültürel birikimin, iklimsel çeşitliliğin ve coğrafi farklılıkların sentezinden doğan çok katmanlı bir kültürel birikimi temsil etmektedir. Bu yapı sistemi, sadece bireysel konutlardan değil, mahalle dokusu, sokak organizasyonu, kamusal alanlar ve yapı kümelenmeleri ile birlikte bir bütün olarak okunmalıdır. Her coğrafi bölge kendi özgün konut mimarisini üretmiş olsa da, bu mimarinin kent ölçeğine yansıyan ortak mekânsal kurgu ilkeleri bulunmaktadır.

Geleneksel Anadolu kentlerinde mahalle, kentsel organizasyonun en temel yapı taşıdır (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Mahalle, genellikle aynı etnik veya dinsel gruba ait bireylerin bir arada yaşadığı, cami, çeşme, fırın ve bazen küçük çarşılar etrafında kümelenmiş birimlerden oluşmaktadır (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010). Bu yerleşme birimlerinde sokaklar organik,

topografyaya uyumlu ve dar olarak tasarlanmıştır (Bekleyen & Dalkılıç, 2011; Özdeniz & Sert, 1997).

Anadolu kentlerinde geleneksel konutlar genellikle içe dönük plan anlayışıyla inşa edilmiştir (Kuban, 1995; Yetkin, 1981). Bu planlamada, dışarıya kapalı ve avluya açılan yaşam alanları öne çıkar (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010). Mahremiyet kültürünün, İslami anlayışın ve iklimsel gereklerin bu mekânsal tercihi yönlendirdiği açıktır (Eruzun, 1990; Özdeniz & Sert, 1997). Taş, kerpiç, ahşap gibi doğal ve yerel malzemelerin kullanılması da bu yapıların çevresel sürdürülebilirlik açısından öncü olduğunu göstermektedir (Bekleyen & Dalkılıç, 2011; Aslan, 2005).

Kent dokusunda sokaklar ile konutlar arasındaki ilişki oldukça dinamik ve grifttir. Örneğin Safranbolu, Mardin, Taraklı, Beypazarı gibi geleneksel Anadolu kentlerinde, sokakla bütünleşmiş çıkmalar, cumbalar ve eyvanlar aracılığı ile kamusal ve özel alanlar arasında görsel ve mekânsal bir geçiş sağlanmaktadır. Bu geçişler, sosyal diyaloğa da olanak sağlamaktadır.

Plan tipolojileri açısından bakıldığında ise Anadolu kentlerinde çoğunlukla iç veya dış sofaya açılan odalar, avlu düzenlemeleri ve çok işlevli mekânlar öne çıkar (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Sofanın, hem dolaşım hem sosyal etkileşim alanı olması; avlunun, gündelik yaşamın merkezi haline gelmesi, mekânların çok amaçlı kullanımını destekleyen bir anlayışın ürünüdür (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010; Özdeniz & Sert, 1997). İç Anadolu'da iç sofalı planlar ve amorf kaya oyma yapılar, Karadeniz'de dış sofalı, çok katlı ahşap konutlar, Ege ve Akdeniz'de avlulu ve gölge düzenler, bu zenginliğin göstergesidir (Bekleyen & Dalkılıç, 2011; Yetkin, 1981).

Anadolu kent mimarisinde yapıların biçimlenmesinde sadece fiziksel ve iklimsel etmenler değil, aynı zamanda sosyal normlar, toplumsal cinsiyet rolleri ve üretim ilişkileri de belirleyici olmuştur (Kuban, 1995; Eruzun, 1990). Örneğin, bir yapının planı sadece barınmayı değil; aynı zamanda misafir ağırlama kültürünü, kadın ve erkek mahremiyetini, üretim ve zanaat alanlarını da içerecek şekilde şekillenmiştir (Aslan, 2005; Koçyiğit, 2010). Bu nedenle geleneksel Anadolu evleri, sadece bir "konut" değil, aynı zamanda bir yaşam felsefesinin fiziksel izdüşümüdür (Yetkin, 1981; Özdeniz & Sert, 1997; Bekleyen & Dalkılıç, 2011).

Genel olarak Anadolu konut mimarisi, yer ile kurduğu bağ, zamanla dönüşen ancak özünü kaybetmeyen yapısı, sosyal uyum ve doğaya saygı ilkeleri ile çağdaş kentsel tasarım ve mimari için ilham verici örnekler sunmaktadır. Bu mimari, modern kentleşmenin çoğu zaman ihmal ettiği "yerlilik", "mahremiyet" ve "topluluk duygusu" gibi kavramları, hem estetik hem işlevsel biçimde hayata geçirmiştir. Yapay zekâ, yeni tasarım araçları ve dijital modelleme teknikleri ile bu geleneksel yapıların okunması, belgelenmesi ve yeniden yorumlanması ise, geçmiş ile geleceği ilişkilendirmesi açısından önemlidir.

3. YAPAY ZEKA (YZ) (ARTIFICIAL INTELLIGENCE AI)

Yapay zekâ (YZ), insan zihninin öğrenme, akıl yürütme, problem çözme, algılama ve karar verme gibi bilişsel işlevlerini taklit edebilen ve çeşitli hesaplama yöntemleri ile uygulayabilen sistemlerin genel adıdır. Kavramsal kökeni 20. yüzyılın ortalarına dayanan yapay zekâ, yalnızca

bilgisayar bilimleri ile sınırlı kalmayıp matematik, istatistik, psikoloji, dilbilim, felsefe, nörobilim ve mühendislik gibi birçok farklı disiplini de içine alan, çok katmanlı ve karmaşık bir araştırma ve uygulama alanı olarak şekillenmiştir. Bugün yapay zekânın kapsamı, yalnızca hesaplama gücünün artışı ile değil, aynı zamanda veri miktarının ve çeşitliliğinin artması, algoritmik yeniliklerin gelişmesi ve sistemlerin adaptasyon yeteneklerinin yükselmesi ile sürekli genişlemektedir.

Yapay zekânın gelişimini anlamak için öncelikle onun tarihsel bağlamını değerlendirmek önemlidir (Russell & Norvig, 2020). 1956 yılında Dartmouth Konferansı'nda John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester ve Claude Shannon tarafından ortaya atılan "Artificial Intelligence" terimi, alanın kurumsallaşmasında önemli bir dönüm noktası olmuştur (McCarthy et al., 1956; Crevier, 1993). Bu dönemde yapay zekâ, insan benzeri genel zekâ geliştirme amacıyla şekillenmiş; ancak ilerleyen yıllarda araştırmacılar, daha dar ve özel problem alanlarına odaklanarak uzman sistemler, makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi alt dalların gelişmesine zemin hazırlamıştır (Nilsson, 2009; Goodfellow, Bengio & Courville, 2016).

Yapay zekâ sistemleri, temelde verileri işleyerek örüntüler bulma, çıkarım yapma ve karar verme süreçlerini otomatikleştirmeye odaklanır. Bu bağlamda en önemli bileşenlerden biri makine öğrenmesi (machine learning) olmuştur. Makine öğrenmesi, sistemlerin doğrudan programlama yoluyla değil, veri ve deneyim üzerinden öğrenmesini sağlayan algoritmaları ifade eder. Bu algoritmalar, verilerdeki karmaşık ilişkileri modelleyerek tahmin ve sınıflandırma görevlerini üstlenir. Daha ileri bir düzeyde, derin öğrenme (deep learning) ise çok katmanlı yapay sinir ağları kullanarak büyük ve karmaşık veri kümelerinde soyut özellikleri otomatik olarak keşfetme yeteneği sunar. Derin öğrenme, özellikle görüntü işleme, doğal dil işleme, ses tanıma ve otonom sistemler gibi alanlarda yapay zekâ uygulamalarının hızlı bir biçimde gelişmesini mümkün kılmıştır.

Yapay zekânın yalnızca teknik yönleri değil, aynı zamanda etik, sosyo-ekonomik ve hukuksal boyutları da önemlidir. Sistemlerin şeffaflığı, hesap verebilirliği, tarafsızlığı ve mahremiyet ilkeleri çerçevesinde tasarlanması, yapay zekâ teknolojilerinin toplumla sağlıklı entegrasyonu açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle karar destek sistemlerinde, sağlık hizmetlerinde, adalet mekanizmalarında ve finans sektöründe yapay zekânın artan rolü, bu etik ve normatif tartışmaları daha da güncel ve karmaşık bir hâle getirmiştir. Yapay zekânın önyargılı verilerle eğitilmesi, yanlış kararlar üretmesi veya hesap sorulamaz hale gelmesi, ciddi toplumsal riskler yaratabilmektedir. Bu nedenle, yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesinde disiplinler arası iş birliği ve denetim mekanizmalarının varlığı hayati önemdedir.

Ayrıca yapay zekâ, farklı sektörlerde yenilikçi uygulamaların ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır (Russell & Norvig, 2020; Nilsson, 2009). Sağlık alanında hastalık teşhisi ve tedavi planlaması, tarımda ürün verimliliği ve hastalık yönetimi, endüstride akıllı üretim sistemleri, ulaşımda otonom araç teknolojileri ve enerji yönetiminde kaynak optimizasyonu gibi birçok alanda yapay zekâ çözümleri yaygın biçimde kullanılmaktadır (Goodfellow, Bengio & Courville, 2016; Topol, 2019; Zhang et al., 2021). Eğitimde kişiselleştirilmiş öğrenme sistemleri ve dil işleme teknolojileri de öğrenme süreçlerinin bireysel ihtiyaçlara göre

uyarlanmasını kolaylaştırmaktadır (Luckin et al., 2016; Holmes et al., 2021). Aynı şekilde, kültürel miras, arkeoloji, sanat ve mimarlık gibi insani bilimlerde de yapay zekâ, büyük veri analizleri ve desen tanıma yetenekleri sayesinde yeni araştırma yöntemleri geliştirilmesine katkı sağlamaktadır (Pedreschi & Williams, 2018; Teboul et al., 2021; Stojanovski et al., 2022).

Teknolojik ilerlemenin bu hızla devam etmesi, yapay zekânın gelecekteki potansiyelini daha da genişletmektedir. Bugün, genel yapay zekâ (artificial general intelligence - AGI) kavramı, insan zekâsına yakın çok yönlü sistemler geliştirme hedefi ile araştırılmaktadır. Bununla birlikte, mevcut yapay zekâ sistemleri halen dar görev alanlarında uzmanlaşmış, yani belirli problemlere odaklanan sistemlerdir. AGI'nin gelişimi, yalnızca teknik sorunların çözülmesini değil, aynı zamanda etik, felsefi ve toplumsal birçok yeni sorunun da ele alınmasını gerektirmektedir.

Yalnızca bilişim sistemleri ve algoritmalardan ibaret bir teknoloji alanı değil; insan zekâsının doğasına ilişkin sorular ortaya koyan, farklı disiplinleri bir araya getiren, sürekli gelişen ve toplumların geleceğini doğrudan etkileyen kapsamlı bir dönüşüm alanıdır. İnsanın doğayla, teknoloji ile ve toplumla kurduğu ilişkinin yeni bir boyutunu temsil eden yapay zekâ, yalnızca mevcut sorunlara çözüm üretmekle kalmayıp, aynı zamanda yeni düşünce biçimleri, üretim modelleri ve etik paradigmaların oluşmasına da zemin hazırlamaktadır.

Yapay zekâ, son yıllarda peyzaj mimarlığı disiplininde de önemli bir araç ve karar destek sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Özünde yapay zekâ; veri işleme, örüntü tanıma, tahmin yapma ve optimizasyon becerileri sayesinde, peyzaj tasarımı ve yönetim süreçlerinde çok çeşitli uygulama imkânları sunmaktadır. İklim verileri, bitki özellikleri, topografya, kullanıcı davranışları ve ekosistem dinamikleri gibi geniş ve karmaşık veri setlerinin işlenmesinde yapay zekâ sistemleri, peyzaj mimarlarına daha bütüncül analiz yapma olanağı sağlamaktadır.

Peyzaj planlama süreçlerinde yapay zekâ destekli modelleme araçları; su yönetimi, erozyon kontrolü, kentsel ısı adası etkisi, biyolojik çeşitlilik ve karbon dengesi gibi ekolojik bileşenleri dikkate alarak mekânsal kararların daha sürdürülebilir temellere oturmasına katkıda bulunmaktadır (Li et al., 2020; Zhang et al., 2021; Stojanovski et al., 2022). Özellikle iklim değişikliği senaryolarına dayalı adaptasyon stratejilerinin geliştirilmesinde yapay zekâ tabanlı tahmin modelleri, farklı alternatiflerin olası sonuçlarını öngörerek karar vericilere yol göstermektedir (Reichstein et al., 2019; Rolnick et al., 2019; Teboul et al., 2021).

Tasarım sürecinde ise generatif tasarım algoritmaları, çok sayıda tasarım alternatifini hızlı biçimde üretip değerlendirebilme olanağı sunmakta; estetik, işlevsellik ve ekolojik denge gibi farklı kriterleri eş zamanlı optimize edebilmektedir. Ayrıca kullanıcı odaklı açık alan tasarımlarında, yapay zekâ ile desteklenen davranış modellemeleri ve simülasyonlar, kullanıcı sirkülasyonlarını ve mekânsal konfor düzeylerini önceden test etme imkânı yaratmaktadır.
Bununla birlikte yapay zekânın peyzaj mimarlığında etik ve metodolojik sınırları da göz önünde bulundurulmalıdır. Tasarım kararlarının yalnızca algoritmalara bırakılması, mekânın kültürel, estetik ve insani boyutlarının göz ardı edilme riskini doğurabilir. Bu nedenle yapay zekâ, peyzaj

mimarının yerel bilgi, tasarım sezgisi ve etik sorumluluğuyla birlikte kullanılan destekleyici bir araç olarak değerlendirilmelidir.

Yapay zekâ, peyzaj mimarlığında karmaşık çevresel ve mekânsal verilerin daha etkin analiz edilmesini, sürdürülebilir ve yenilikçi tasarım yaklaşımlarının geliştirilmesini mümkün kılmakta; ancak tasarımcının eleştirel ve yaratıcı rolünü tamamlayıcı bir unsur olarak konumlanmaktadır.

4. GELENEKSEL ANADOLU KONUT MİMARİSİ VE YAPAY ZEKA VE DEĞERLENDİRME

Geleneksel Anadolu konut mimarisi, sadece bir barınma pratiği değil; iklim, kültür, malzeme ve toplumsal yapıların ortak bir ürünüdür. Bu yapıların biçimlenişinde yerel zanaatkârlık, anonim bilgi ve uzun süreli bir kolektif deneyim etkili olmuştur. Peyzaj Mimarlığı disiplini, bu mirası yalnızca korumakla kalmayıp aynı zamanda anlamlandırmak ve geleceğe taşımak gibi çok boyutlu bir sorumluluk üstlenmektedir.

Bu noktada, yapay zekâ teknolojilerinin gelişimi, geleneksel mimarlık biçimlerinin analiz edilmesi, dijital ortamda yeniden üretilmesi ve yorumlanması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Özellikle derin öğrenme, bilgisayarla görme (computer vision), generatif tasarım ve veri madenciliği gibi teknikler, geleneksel yapıların mekânsal kurgusunu, oranlarını, malzeme kullanımını ve plan tipolojilerini algoritmik olarak çözümlemeyi mümkün kılmaktadır. Böylece anonim ve ustalık temelli bilgi, dijital bir kod sistemine dönüştürülerek yeniden erişilebilir hale gelmektedir.

Geleneksel konutların parametrik özelliklerinin tanımlanması, yapay zekâ destekli analiz sistemlerinin ilk adımıdır. Bu sistemler, farklı bölgelerdeki plan tipolojilerini, cephe organizasyonlarını, pencere oranlarını ve malzeme ilişkilerini tarayarak mimari bir veri seti oluşturabilir. Örneğin, Karadeniz Bölgesi'ndeki ahşap karkas sistemli dış sofalı evler ile İç Anadolu’nun içe dönük kerpiç konutları, bu tür bir analizde birbirinden ayrıştırılarak bölgesel özelliklerin sayısal olarak modellenmesi sağlanabilir. Böylece geleneksel mimari, istatistiksel bir yapıya kavuşur.

Yapay zekâ sistemlerinin bu veriler üzerinde yaptığı sınıflandırmalar, kümeleme analizleri ve örüntü tanıma süreçleri sayesinde, Anadolu’daki konut mimarisi sadece belgelenmekle kalmaz, aynı zamanda yeni tasarım önerileri için bir arayüz haline gelir (Pedreschi & Williams, 2018; Teboul et al., 2021; Stojanovski et al., 2022). Bu süreç, özellikle restorasyon projeleri, geleneksel dokuyla uyumlu yeni konut tasarımları veya dijital kültürel miras üretimi için son derece değerlidir (Oxman, 2017; Goodfellow, Bengio & Courville, 2016). Örneğin GAN (Generative Adversarial Network) tabanlı sistemler, geleneksel plan tipolojilerini referans alarak yeni plan önerileri sunabilir (Goodfellow et al., 2014; Teboul et al., 2021).

Bununla birlikte, yapay zekânın yalnızca biçimsel değil, aynı zamanda işlevsel ve çevresel verileri de dikkate alarak tasarım kararları üretmesi mümkündür (Reichstein et al., 2019; Rolnick et al., 2019). Geleneksel Anadolu evlerinin iklimlendirme stratejileri (saçak

uzunlukları, avlu konumlandırmaları, pencere açıklıkları gibi) AI modellerine dahil edilerek çevresel sürdürülebilirlik açısından da çağdaş tasarım çözümleri geliştirilebilir (Li et al., 2020; Zhang et al., 2021). Bu, yapay zekânın sadece bir analiz aracı değil, aynı zamanda etik ve ekolojik bir tasarım ortağı olarak düşünülmesini sağlar (Rolnick et al., 2019; Oxman, 2017).

Yapay zekânın kültürel miras mimarisi ile ilişkisi yalnızca fiziksel biçimlerin yeniden üretilmesinden ibaret değildir; aynı zamanda dijital koruma, sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve dijital hikâyeleştirme (digital storytelling) gibi yöntemlerle toplumsal belleğin aktarılmasına da katkı sunar. Anadolu'nun geleneksel bir evi, dijital ortamda üç boyutlu olarak yeniden inşa edilip etkileşimli olarak deneyimlenebilir. Bu durum, özellikle genç nesillerin geleneksel mimarlıkla olan bağını güçlendirmek için önemli bir pedagojik araçtır.

Ayrıca yapay zekâ, geleneksel yapılar üzerinde zamanla oluşan bozulmaları, müdahale gerektiren noktaları ve yapısal zayıflıkları da tespit edebilecek şekilde eğitilebilir. Bu tür algoritmalar, fotogrametri, lidar tarama ve drone görüntüleme gibi yöntemlerle toplanan verileri analiz ederek koruma ve restorasyon süreçlerine katkı sağlayabilir. Böylece, yalnızca geleneksel yapılar üzerine yeni tasarımlar yapılmakla kalmaz, aynı zamanda mevcut mirasın yaşatılması ve sağlıklı biçimde korunması da mümkün hale gelir.

Mimarlık pratiğinde yapay zekâ destekli yaklaşımlar, özellikle Anadolu'nun kırsal ve tarihi bölgelerinde yapılacak yeni yapıların, yerel dokuya zarar vermeyecek biçimde planlanması açısından büyük avantajlar sunar. AI, geçmişteki başarılı yerleşme modellerini analiz ederek, bölgesel tasarım rehberleri oluşturabilir. Bu rehberler, planlama aşamasında mimarlara yapının yeri, formu, oranı ve malzeme tercihleri konusunda öneriler sunarak, çağdaş üretimin geleneksel mirasla olan bağını güçlendirir.

Ancak bu teknolojik dönüşümün, geleneksel mimarlık değerlerini araçsallaştırmayan, onları birer "şablon" ya da "nostalji nesnesi"ne dönüştürmeyen bir yaklaşımla yürütülmesi gerekir (Frampton, 1983; Canizaro, 2007). Yapay zekâ ile geleneksel mimarlık arasında kurulacak ilişki, yalnızca formel benzerliklere değil; aynı zamanda bağlamsallık, yaşanmışlık, kültürel hafıza ve etik sorumluluk gibi derin katmanlara da temas etmelidir (Oxman, 2017; Pedreschi & Williams, 2018; Teboul et al., 2021). Bu noktada yapay zekâ, yeniden üretici değil, yeniden yorumlayıcı bir rol üstlenmelidir (Stojanovski et al., 2022; Rolnick et al., 2019).

4.1. DEĞERLENDİRME

Geleneksel Anadolu konut mimarisi, Anadolu coğrafyasının topografyası, iklim koşulları, sosyo-kültürel yapısı ve kadim yapı bilgisinin özgün bir bileşimi olarak yüzyıllar boyunca evrilerek yöresel mimarlık ürünlerini ortaya koymuştur. Bu mimari miras, yerel malzemenin etkin kullanımı, çevre ile kurulan dengeli ilişki ve sosyal yaşamı destekleyen mekânsal kurgusu ile sadece geçmişin değil, bugünün ve geleceğin mimarlığına da önemli referanslar sunmaktadır. Bu kapsamda geleneksel birikimin, sadece korunması değil, anlamlandırılarak yeniden yorumlanması da büyük önem taşımaktadır.

Bu noktada yapay zekâ, geleneksel mimari verilerin derlenmesi, sınıflandırılması, analiz edilmesi ve dijital ortamda yeniden üretilmesi açısından güçlü bir araçtır. Yüzlerce yıllık

mimari üretimin ilkeleri, teorik alan planı ve faklı bileşenleri, yapay zekâ algoritmaları ile çözümlenerek sistematik hale getirilebilmekte; mekânsal veriler görsel, sayısal ve parametrik biçimde dönüştürülebilmektedir. Bu dönüşüm, geleneksel yapıları sadece korumak, restorasyonunu gerçekleştirmekten öte çağdaş mimari tasarımda da aktif bir referans haline getirmektedir.

Anadolu'nun yedi coğrafi bölgesinde izlenen konut plan tipolojileri, malzeme tercihleri, cephe düzenlemeleri ve yapısal sistemler, yapay zekâ modellemeleri ve simülasyon aracılığı ile karşılaştırmalı olarak analiz edilebilmektedir. Böylece mimari miras, bölgesel bağlamlarda çeşitliliği ile okunabilir hale gelebilmektedir. Karadeniz'deki ahşap yapı sistemi ile İç Anadolu'daki yığma kerpiç yapısal sistemin aynı yapı mantığına karşın farklılaşması gibi yaklaşımlar, bu çeşitliliği görünür kılmakta ve ilkelerinin anlanması için olanak sağlamaktadır. Yapay zekâ bu çeşitliliği analiz ederek mimari sentezler üretme potansiyeline sahiptir. Ancak geleneksel mimarinin sadece fiziksel biçimleri değil, ardındaki yaşam kültürü, mahremiyet ilkeleri, üretim biçimleri ve toplumsal değer sistemleri de analiz edilmeli ve dijital araçlar ile birlikte okunmalıdır. Yapay zekâ, bu kültürel katmanlara doğrudan erişim sağlayamasa da, yapılar ile ilişkili olan sosyo-kültürel bağlamları destekleyici veriler ile entegre ederek anlamlı sonuçlar sunabilir. Bu entegrasyon, mimari üretimin sadece formal değil; anlamlı, duyarlı ve bağlamsal olmasını sağlamaktadır.

Geleneksel Anadolu konut mimarisi sahip olduğu özel konum ve sürdürülebilir, ekolojik kimliği ile gelecek kuşaklara aktarılması zorunlu olan kültür kaynaklarıdır. Bu anlamda bakım, onarım ve restorasyonların sağlanması yanında çağdaş ve güncel tasarım diline ve gereksinimlere uyarlanmış yeni yaklaşımlar da gereklidir. Bu bağlamda yapay zekâ, geleneksel yapı mantığını anlayan, çözümleyen analiz ederek yeni formlara dönüştürebilen bir araç olarak kullanılmaktadır. Tasarım sürecinde veriye dayalı kararlar üretmek, yerel kimliği yitirmeden yenilikçi çözümler geliştirmek için bu teknolojiler stratejik bir rol üstlenmektedir. Böylece hem yaratıcı düşünce desteklenecek hem de yerel mirasa saygılı, güncel teknolojiyi etkin kullanan bir mimarlık anlayışı geliştirmeye olanak sağlayacaktır. Özellikle mimarlık ve peyzaj mimarlığı disiplinlerini entegre eden bu anlayış, kentsel bağlamda bütüncül tasarımlar gerçekleştirilmesine olanak sağlayacaktır.

Koruma kuramlarının güncel teknoloji ile buluşturulması, Anadolu'daki geleneksel konutların fiziksel olarak korunmasının ötesinde dijital hafızalarının oluşturulmasını da sağlayacaktır. Bu anlamda, geleneksel yapılar yalnızca geçmişin kültürel izleri olarak değil, geleceğin dijital kültürünün aktif bileşenleri olarak işlev görecektir. VR, AR ve 3D modelleme yöntemleri ile desteklenen bu yeni temsil biçimleri, mimarlık kültürünün dijitalleşmesini mümkün kılmaktadır. Ancak tüm bu süreçlerde, yapay zekânın bir araç olmaktan çıkıp etik, sosyal ve kültürel sorumluluklar kapsamında değerlendirilmesi bir zorunluluktur. Geleneksel yapıları sadece yeniden üretmek değil; onların taşıdığı değerleri, anlatıları ve bağlamsal kimlikleri de yaşatmak gereklidir. Bu anlamda mimar, sadece algoritmayı yöneten değil; aynı zamanda kültürel belleği yönlendiren olmalıdır. Geleneksel Anadolu konut mimarisi ile yapay zekâ teknolojilerinin kesişimi, gerek mimari ve kentsel gereksinimleri peyzaj mimarlığının güncel sorunlarına hem tarihsel hem dijital temelli bir çözüm önerisi sunmaktadır. Bu kesişim, geçmiş

ile geleceği birbirine bağlayan, yerel olan ile evrensel olanı buluşturan bir mimari anlayışın temelini oluşturmaktadır. Bu noktada hem kültürel hafızanın hem de dijital çağın tasarımı yeniden konumlanmaktadır.

5. SONUÇLAR

Geleneksel Anadolu konut mimarisi, tarihi süreç içinde farklı coğrafi, iklimsel ve sosyo-kültürel etkenler doğrultusunda biçimlenen, zengin ve büyük bir çeşit ölçeğe sahip bir yapı kültürünü temsil etmektedir. İklim koşullarına uyumlu yapılanması, yerel ve kolay kolay sağlanabilir malzeme seçimi, toplumsal yaşamın mekânsal yansımaları ve estetik kaygılar doğrultusunda gelişen plan tipolojileri, Anadolu'nun çeşitli bölgelerinde karakteristik yapı formlarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bugün ise bu geleneksel yapı mirası, çağdaş tasarım anlayışları ve teknolojik gelişmeler ile birlikte yeniden değerlendirilmektedir. Özellikle yapay zekâ teknolojilerinin gelişmesi, geleneksel mimarinin hem korunması hem de yeniden yorumlanması süreçlerinde önemli bir potansiyel sunmaktadır.

Yapay zekâ tabanlı analiz sistemleri, geleneksel konut mimarisinde yer alan çok katmanlı verileri bütüncül biçimde değerlendirme olanak sağlamaktadır. Tarihi yapıların plan şemaları, cephe özellikleri, malzeme kullanımları ve mekânsal organizasyonları, büyük veri kümeleri üzerinden analiz edilerek ortak tasarım ilkeleri ve yapısal kalıplar ortaya konabilmektedir. Bu analizler, yapay zekâ destekli modelleme araçları ile yeni tasarım kararlarının alınmasında referans oluşturarak, geleneksel tasarım ilkelerinin ve mekân kurgulanmalarının çağdaş gereksinimlere uygun biçimde yeniden yorumlanmasına katkı sağlamaktadır. Böylece güncel teknolojik olanakları ile bütünleştirilerek sürdürülebilir ve kültürel sürekliliği olan tasarım yaklaşımları geliştirilebilecektir.

Geleneksel konut mimarisinde karşılaşılan iklim pasif tasarım stratejileri, yapay zekâ destekli simülasyon ve optimizasyon araçları ile daha etkin analizler gerçekleştirebilmektedir. Isı yalıtımı, doğal havalandırma, ışık kontrolü ve malzeme performansı gibi fiziksel parametreler, yapay zekâ algoritmaları ile çok değişkenli senaryolar kapsamında test edilerek, mevcut koşullara en uygun çözümler elde edilebilmektedir. Bu sayede geleneksel yapıların çevresel duyarlılığı, güncel enerji verimliliği ve konfor standartları ile bütünleştirilebilmektedir. Yapay zekânın sunduğu hesaplama kapasitesi, tasarımcılara daha esnek, hızlı ve verimli karar alma süreçleri sağlarken koordinasyonu da kolaylaştırmaktadır.
Diğer yandan, yapay zekânın tasarım sürecine entegre edilmesi, geleneksel Anadolu konut mimarisinin mekânsal kimliğini koruyarak güncel yaşam biçimlerine uyumlu hibrit modellerin geliştirilmesine de olanak tanımaktadır. Yapay zekâ tabanlı tasarım önerileri, yerel mimari mirasın temel ilkelerini koruyarak, çağdaş estetik ve işlevsellik anlayışlarıyla bütünleştirilebilir. Bu yaklaşım hem kültürel sürekliliğin sağlanması hem de mimari tasarımın güncel gereksinimlere uyarlanması açısından önemli bir tasarım stratejisi olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, yapay zekâ destekli yorumlamalar, geleneksel Anadolu konut mimarisinin sadece korunmasını değil, aynı zamanda çağdaş bağlamda sürekliliğini sağlayan yenilikçi yaklaşımların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak parametreler kontrollü ve denetim altında girilmelidir. Aksi durumlarda kültürel harman yaşanabilmektedir.

Yapay zeka ile tasarlanmış geleneksel Anadolu konut mimarisi kapsamında 10 örnek yerleşimin geleneksel konutuna ilişkin modellemeler gerçekleştirilmiştir.

FOÇA



.Görsel 1. Geleneksel Foça Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan güncel Foça Evi, geleneksel mimari değerleri çağdaş yaşam gereksinimleri ile bütünleştiren bir yaklaşım ile yapılandırılmıştır. Yapının temel strüktürü, bölgeye özgü Foça taşı ile yığma taş sistem ile inşa edilmiş; böylece doğal yalıtım sağlanırken tarihî doku korunmuştur. Üst katlarda ahşap karkas ve bağdadi sistem kullanılarak esnek ve hafif bir yapı dili oluşturulmuştur. Geleneksel cumbalar ve şahnişin çıkmalar çağdaş yaşam gereksinimlerine uyarlanarak mekânın manzara ve sokak dokusu ilişkisi korunmuştur. Cephede bulunan pencere açıklıkları gün ışığından maksimum düzeyde yararlanarak biçimlenmiş, CNC kesimli ahşap güneş kırıcılar ise estetik ve işlevselliği dengelemiştir. Kırma çatı formu korunmuş; esnek güneş panelleri, yağmur suyu toplama sistemi ve akıllı iklim kontrol çözümleri ile yapısal ve çevresel sürdürülebilirlik desteklenmiştir.

İç mekânda zemin katta mutfak ve servis alanları; üst katta ise sofa etrafında odalar düzenlenmiştir. Yüksek tavanlı salon ve odalarda CNC işlenmiş ahşap süslemelerle modern ve geleneksel detaylar harmanlanmıştır. Akıllı ev sistemleri, doğal havalandırma ve zemin ısıtma ile yaşam konforu artırılmış; yağmur suyu geri kazanım sistemi ile ekolojik denge gözetilmiştir. Peyzajda taş avlu çevresinde begonvil, lavanta ve zeytin ağaçlarıyla Akdeniz karakteri vurgulanmış; düşük su tüketimli bitkiler ile sürdürülebilirlik ve enerji etkin tasarım hedeflenmiştir. İç avlu ise hem ışık ve hava sirkülasyonu hem de mahremiyet açısından önemli bir tasarım bileşeni olmuştur.

ŞANLIURFA



Görsel 2. Geleneksel Şanlıurfa Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan bu yapı, Urfa'da yüzyıllardır kullanılan yığma taş sistem ve avlu kültüründen yola çıkarak kurgulanmıştır. Sıcak ve kurak iklim koşullarına karşı geleneksel çözüm olan avlu, yapının merkezinde yer almakta; mahremiyet, doğal havalandırma ve termal konfor sağlamaktadır. Sarı kalker (Urfa taşı) ile inşa edilen kalın taş duvarlar, hem doğal yalıtım hem de bölgeye özgü estetik bir sıcaklık sunmaktadır. Taş kemerli girişler ve tonozlu geçişler, geleneksel detayların çağdaş formlarla bütünleşmesini sağlamıştır. Cephede CNC kesimli taş paneller ve taş güneş kırıcılarla gölgelenen geniş cam açıklıklar sayesinde doğal ışık ve enerji verimliliği dengelenmiştir. Geleneksel düz teras çatılar, modern su toplama ve yeşil çatı sistemleri ile çevreci bir yapıya dönüştürülmüştür. Pergola altında tasarlanan balkon ve oturma alanları ise yaz aylarında doğal serinlik sağlamaktadır.

İç mekân organizasyonunda avlu etrafında konumlanan yaşam alanları ile hem mahremiyet hem de sürekli hava sirkülasyonu sağlanmıştır. Geniş sofa çevresine konumlandırılan odalar, yüksek tavanları ve modern niş aydınlatmaları ile ferah bir yaşam ortamı sunmaktadır. Geleneksel sedirler ve modern ahşap işçiliği iç mekâna sıcak ve zamansız bir doku kazandırmıştır. Yapının genelinde akıllı iklim kontrol sistemleri, doğal havalandırma koridorları ve güneş enerjisi panelleri ile sürdürülebilirlik desteklenmiştir. Peyzaj düzenlemesinde ise zeytin, nar, lavanta ve asma gibi kurak iklime uygun bitki türleri tercih edilmiştir. Avlunun merkezindeki taş şadırvan ve fıskiye hem serinletici hem de estetik bir odak oluşturmuştur. Sonuç olarak, tasarımım Urfa'nın geleneksel taş ev kültürünü modern yaşam dinamikleri ile harmanlayarak çağdaş ve sürdürülebilir bir yaşam alanı sunmaktadır.

KAYSERİ



Görsel 3. Geleneksel Kayseri Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan Kayseri evi, kentin tarihsel sivil mimari geleneğini çağdaş teknolojiler ile bütünleştirerek ele alınmıştır. Volkanik tüf taşının sağladığı doğal yalıtım özellikleri korunmuş; kalın taş duvarlar CNC kesimli tüf bloklarla güncellenerek estetik dokuya sadık kalınmıştır. Geleneksel plan şeması içinde taşlık giriş, geniş sofa ve haremlik-selamlık düzeni korunmuş; şerbetlik, gilve ve nişler ise çağdaş yorumlar ile mekâna nostaljik ve yenilikçi bir karakter kazandırılmıştır. İç ve dış mekân sürekliliği, avlu yaşamı ve biyofilik peyzaj tasarımıyla desteklenmiştir. Geleneksel taşlık, akıllı iklim kontrolü ve dekoratif aydınlatma sistemleri ile işlevsel bir giriş mekânına dönüştürülmüştür.

Isıtma ve soğutma sistemlerinde doğal taş yalıtımı, akıllı iklim kontrolü, yerden ısıtma ve pasif havalandırma sistemleri ile desteklenmiş; geleneksel tandır ve puhayri sistemleri modern enerji çözümleri ile entegre edilmiştir. Çatıda ise yeşil çatı uygulamaları, yağmur suyu toplama ve fotovoltaik panellerle enerji verimliliği artırılmış, toprak dam estetiği korunmuştur. Peyzaj tasarımında nar, zeytin, lavanta ve su tasarruflu bitki türleri ile avlu kültürü sürdürülmüş; şadırvan ve biyofilik öğelerle serin ve dinamik bir dış mekân oluşturulmuştur. Hayvan başlı taş tokmaklar modern lazer kesimle, çıtakâri tavan detayları ise CNC işleme teknolojisi ile yeniden yorumlanmıştır. Sonuçta ortaya çıkan bu tasarım, Kayseri'nin taş mimari mirasını çağdaş sürdürülebilir yaşam standartları ile bütünleştiren yeni nesil ancak geleneksel çizgide bir konut modeli ortaya koymuştur.

KONYA



Görsel 4. Geleneksel Konya Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan Konya evi, geleneksel plan ve malzeme dilini koruyarak çağdaş yaşamın gereklilikleri ile bütünleştirilmiştir. Hayat ve sofa etrafında şekillenen mekânsal organizasyon, geniş aile yaşamına ve mahremiyete uygun şekilde planlanmıştır. Taş temel üzerinde yükselen beyaz sıvalı beden duvarları, koyu renkli CNC işlenmiş ahşap detaylarla zenginleştirilmiştir. Ahşap payandalı çıkmalar ve kafesli pencereler, modern malzemeler ile yorumlanarak estetik kimlik korunmuştur. Geleneksel kapı tokmakları ve zarif ahşap işçilik, lazer kesim ve akıllı giriş sistemleri ile güncellenmiştir. İç mekânda ise hayat avlusunu çevreleyen odalar, geniş sofa ve işlevsel mekânlar korunmuş; CNC işlenmiş tavan göbekleri, LED aydınlatmalı nişler ve zarif dolap detaylarıyla modern estetik yakalanmıştır.

Isıtma ve soğutma sistemlerinde doğal havalandırma prensipleri korunmuş; yerden ısıtma ve akıllı iklim kontrol sistemleri ile desteklenerek konfor artırılmıştır. Çatıda yeşil çatı uygulamaları ve esnek güneş panelleri ile sürdürülebilirlik sağlanmıştır. Peyzaj düzenlemesinde hayat kültürü sürdürülmüş; merkezde taş şadırvan ve su öğesi, çevresinde lavanta, zeytin, nar gibi kurak iklim bitkileri kullanılmıştır. Kerpiç bahçe duvarlarıyla çevrili avlu, Konya’nın iklimine uygun serin ve mahrem yaşam alanları oluşturmuştur. Sonuç olarak, bu tasarım Konya'nın geleneksel konut kültürünü modern malzeme ve teknolojilerle birleştirerek zamansız ve sürdürülebilir bir yaşam modeli sunmaktadır.

GAZİANTEP



Görsel 5. Geleneksel Gaziantep Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan Gaziantep evi, kentin taş işçiliğine dayalı geleneksel avlu kültürünü çağdaş teknolojiler ile bütünleştirerek ele alınmıştır. Kalın sarı kalker duvarlar ve bazalt detaylarla oluşturulan içe dönük plan kurgusu, sıcak ve kurak iklime karşı serin ve mahrem yaşam alanları sunmaktadır. Sokak cephesinde kör duvarlar korunurken, iç avlu yaşamın merkezi olarak kurgulanmıştır. CNC kesimli Antep taşı ve nano kaplamalı taş panellerle geleneksel taş dokusu modern işçilikle bütünleştirilmiştir. Lazer kesimli demir parmaklıklar ve ahşap kafes sistemleri, modern tasarım dili ile yeniden yorumlanmıştır. Akıllı iklim kontrol sistemleri ile desteklenen avlu merkezli plan, doğal havalandırma ve gölgeleme prensiplerini sürdürmüştür.

İç mekânda sofa etrafında yerleşen odalar, CNC işlenmiş tavan göbekleri, LED aydınlatmalı nişler ve dekoratif dolap detaylarıyla modernize edilmiştir. Geleneksel sedirler, şerbetlikler ve ocak başları, çağdaş malzeme ve işçilikle nostaljik atmosferini korumuştur. Isıtma ve soğutma sistemlerinde yerden ısıtma, pasif serinletme ve akıllı iklim kontrolü ile yüksek konfor sağlanmıştır. Peyzajda nar, zeytin, asma ve aromatik bitkiler tercih edilmiş; taş şadırvan ve fıskiye ile serin ve estetik bir avlu tasarlanmıştır. Yüksek avlu duvarları mahremiyeti sağlarken, ferah ve aydınlık iç mekânlar ile modern yaşamın gereksinimleri karşılanmıştır. Sonuç olarak bu tasarım, Gaziantep'in taş mimari mirasını teknoloji ve sürdürülebilirlikle buluşturan çağdaş bir konut modeli sunmaktadır.

VAN



Görsel 6. Geleneksel Van Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan Van evi, bölgenin sert iklimi ve kültürel yapısına uyumlu geleneksel plan ve malzeme dilini çağdaş teknoloji ile bütünleştirmiştir. Kalın taş ve kerpiç duvarlar, kışın sıcak, yazın serin bir iç ortam sağlamış; avlu düzeni ve cumbalı cepheler mahremiyet ve sosyal yaşam dengesini korumuştur. CNC işlenmiş taş paneller ve kompozit ahşap detaylarla cephe özgün dokusunu korurken modern işçilikle zenginleştirilmiştir. Ahşap ağırlıklı cumbalar geniş cam açıklıklarla doğayla iç içe yaşamı desteklemiş; lazer kesim ferforje motifler klasik Van desenlerini çağdaş yorumla yeniden üretmiştir. Sofa plan şeması ile kurgulanan açık yaşam alanları, yüksek tavanlar ve CNC işlenmiş tavan göbekleri mekâna modern zarafet katmıştır.

Isıtma ve soğutma sistemlerinde doğal taş yalıtımı, yerden ısıtma, pasif havalandırma ve akıllı iklim kontrol sistemleri ile enerji verimliliği sağlanmıştır. İç avlu çevresinde konumlanan yaşam birimleri doğal ışık ve hava sirkülasyonunu desteklemiştir. Peyzaj düzeninde taş döşemeli avlu, şadırvanlı su öğesi ve aromatik bitkiler ile doğal atmosfer korunmuş; nar, armut, üzüm ve lavanta gibi türlerle hem estetik hem işlevsel bir bahçe oluşturulmuştur. Sonuçta ortaya çıkan bu Van evi; sade fakat zarif, geleneksel fakat yenilikçi, yerel malzeme ve teknolojiyi uyumla birleştiren özgün bir yaşam modeli sunmaktadır.

İSTANBUL



Görsel 7. Geleneksel İstanbul Evinin Yapay Zekâ ile Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan İstanbul evi, geleneksel yapı kimliğini koruyarak çağdaş malzeme ve teknolojilerle yeniden yorumlanmıştır. Geleneksel taş bodrum ve ahşap bağdadi duvarlar, güncel uygulamada CNC kesimli ahşap paneller, mikro kaplamalı bağdadi sistem ve kompozit malzemelerle güncellenmiştir. Cephede pastel renkli ahşap kaplamalar, canlı pastel tonları ve lazer kesim detaylarla modernize edilmiştir. Geleneksel konsollu cumbalar, genişletilmiş ve modern gölge tasarımla mekânsal derinlik kazandırmıştır. Ahşap kafesli ve kepenkli pencereler, akıllı cam sistemleri, lazer kesim kafesler ve açılır-kapanır kepenklerle bütünleştirilmiştir. Çift kanatlı metal ahşap kapılar, CNC işlenmiş kompozit malzeme ve akıllı giriş sistemleri ile günümüz kullanımına uygun hale getirilmiştir.

Çatı formunda geleneksel kırma çatı kurgusu korunmuş; Marsilya formunda esnek solar kiremitlerle enerji üretimi desteklenmiştir. Plan şemasında dar sokaklara bakan iç sofaya açılan geleneksel kurgu, modern yaşam ihtiyaçlarına uygun açık planlı ve iç avlulu bir düzene dönüştürülmüştür. Isıtma ve soğutma sistemlerinde doğal havalandırma ilkeleri korunurken, akıllı iklim kontrol ve pasif serinletme çözümleri eklenmiştir. Peyzaj düzenlemesinde küçük ön bahçe ve arka avlu yerine taş döşemeli modern iç avlu, aromatik bitkiler ve küçük su öğeleri ile doğal ve estetik bir yaşam ortamı sağlanmıştır. Sonuç olarak ortaya çıkan bu İstanbul evi, tarihi sivil mimari mirasını teknoloji ve sürdürülebilirlik ilkeleri ile bütünleştiren zamansız bir yaşam modeli sunmaktadır.

MUĞLA



Görsel 8. Geleneksel Muğla Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan Muğla evi, geleneksel plan şeması ve malzeme dilini çağdaş detay ve sistemler ile bütünleştirerek ele alınmıştır. İçe dönük avlulu yapı düzeni, geniş saçaklar, kuzulu kapısı ve Muğla'ya özgü bacalar, doğal iklime uyum sağlayan karakteristik unsurlar olarak korunmuştur. CNC kesimli düzgün taş bloklar, kompozit ahşap paneller ve lazer kesimli kafes detaylarıyla cephede hareketlilik sağlanmış; beyaz sıva ve doğal ahşap dengesi sadelik ve sıcaklığı bir arada sunmuştur. Geleneksel kuzulu giriş sistemi, akıllı giriş teknolojisi ile entegre edilmiştir. Avlu merkezli hayat alanı, geniş cam açıklıklar ve doğal ışık kullanımıyla zenginleştirilmiş; sofa plan tipolojisi, çağdaş açık merdiven holleri ve galerili üst kat düzeni ile modernize edilmiştir.

İç mekânda ahşap tavan kirişleri ve gömme nişler, CNC işleme teknolojisi ile detaylandırılmış; ısıtma-soğutma sistemleri ise yerden ısıtma, pasif havalandırma ve akıllı iklim kontrolü ile desteklenmiştir. Peyzaj düzenlemesinde kayrak taşı döşemeler, aromatik Akdeniz bitkileri, küçük taş havuzlar ve müştemilat yapılarıyla çağdaş bir avlu yaşamı sağlanmıştır. Nar, zeytin ve limon ağaçlarıyla geleneksel bitkisel doku sürdürülmüş; yığma taş sistemleri ile inşa edilen müştemilatta mutfak ve servis alanları tasarlanmıştır. Sonuçta ortaya çıkan bu Muğla evi; doğaya, geleneğe ve çağdaş konfor standartlarına uyum sağlayan bütüncül bir yaşam modeli sunmaktadır.

BURSA



Görsel 9. Geleneksel Bursa Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan Bursa evi, kentin klasik Türk evi tipolojisine sadık kalınarak çağdaş detay ve teknolojiler ile yeniden yorumlanmıştır. Alt katlarda CNC kesimli düzgün taş bloklar ve stabilize kerpiç, üst katlarda ise lazer kesimli ahşap paneller ve modern tuğla dolgular kullanılarak özgün malzeme kimliği korunmuştur. Geleneksel içe dönük avlu düzeni sürdürülmüş; ahşap cumbalar, geniş cam açıklıklar ve modern kafes sistemleri ile ışık, havalandırma ve manzara ilişkisi güçlendirilmiştir. Çift kanatlı kapılar CNC işleme ve akıllı giriş sistemleri ile güncellenmiştir. Geniş sofa anlayışıyla bütünleştirilmiş; kış katı ise pasif iklimlendirme ve modern izolasyon çözümleri ile enerji verimliliği sağlamıştır.

İç mekânda CNC işlenmiş tavan göbekleri ve LED aydınlatmalı nişlerle geleneksel ahşap işçiliğin çağdaş yorumu yapılmıştır. Bahçe ve peyzaj tasarımında taş döşemeli iç avlular, şadırvanlı su öğeleri ve aromatik bitkilerle serin ve yaşanabilir dış mekânlar oluşturulmuştur. Nar, asma ve zeytin gibi yerel bitki türleri korunmuş; müştemilat yapıları modern fonksiyonlarla bütünleştirilmiştir. Sonuç olarak ortaya çıkan çağdaş Bursa evi; tarihi mirasa ve iklim koşullarına saygılı, sürdürülebilir ve çağdaş bir konut modeli sunmaktadır.



Görsel 10. Geleneksel Trabzon Evinin Yapay Zekâ İle Güncel Yorumu(orijinal,2025)

Yapay zekâ ile tasarlanan Trabzon Muska Dolma Evi, bölgenin sert ve yağışlı Karadeniz iklimine uyum sağlayan geleneksel yapı dilini çağdaş detay ve teknolojiler ile bütünleştirmiştir. Doğal yağlı kompozit ahşap kaplamalar, lazer kesimli panjurlar ve geniş pencere açıklıkları ile manzaraya açılım sağlanmıştır. Geleneksel çıkmalı balkonlar cam korkuluklarla çağdaşlaştırılmış, ancak orijinal form korunmuştur. İçe dönük bahçe düzeni, yüksek saçaklar ve küçük pencere açıklıklarıyla mahremiyet ve iklim kontrolü sürdürülmüştür.

İç mekânda zemin katta servis ve depo alanları, üst katta geniş yaşam alanları planlanmıştır. CNC işlenmiş ahşap kiriş ve göbek sistemleri LED aydınlatmalar ile desteklenmiş, çatı katı ise cihannüma benzeri seyir galerisi olarak tasarlanmıştır. Isıtma ve soğutma sistemlerinde yerden ısıtma, akıllı iklim kontrol ve pasif havalandırma sistemleri uygulanmıştır. Peyzajda doğal eğime uygun taş basamaklı yollar, meyve ağaçları, aromatik Karadeniz bitkileri ve seyir terasları ile doğayla uyumlu bir bahçe oluşturulmuş; yağmur suyu toplama sistemleri ve su öğeleri ile çevre dostu bir yaşam çevresi sağlanmıştır. Sonuç olarak ortaya çıkan çağdaş Muska Dolma Evi, Trabzon'un kültürel mirasını ve doğal çevresini teknoloji ile bütünleştiren özgün bir konut modeli sunmaktadır.

Anadolu konut mimarisi, yüzyıllar boyunca farklı iklim, topografya ve kültürel etkileşimler sonucu gelişen zengin bir yapı geleneği oluşturmaktadır. Bölgesel malzeme kullanımı, iklim koşullarına uyumlu mekân organizasyonları ve toplumsal yaşamın gereksinimlerine göre

biçimlenen plan şemaları, her şehirde kendine özgü mimari kimlikler ortaya çıkarmıştır. Bu özgünlük, Foça'dan Urfa'ya, Kayseri'den Trabzon'a, Konya'dan Bursa'ya kadar geniş bir coğrafyada hem yapı fiziği hem de estetik anlayış açısından farklı ama ortak değerler etrafında şekillenmiştir. Taş, ahşap, kerpiç ve tuğlanın yerel kaynaklara göre kullanım biçimleri, iç avlu ve sofa kurguları, çıkmalar, cumbalar ve çeşitli süsleme gelenekleri Anadolu kent dokusunun temel karakterini belirlemiştir.

Bugün yapay zekâ teknolojileri, bu geleneksel mirasın korunarak güncel yaşam koşullarına uyarlanmasında önemli bir tasarım aracı haline gelmiştir. Yapay zekâ destekli tasarım süreçleri, geleneksel yapıların plan şemaları, malzeme kullanımları ve iklimsel adaptasyon stratejilerini büyük veri ve simülasyon modelleri üzerinden analiz ederek, yeni yapıların tasarımında optimize edilmiş çözümler üretmektedir. CNC kesim, lazer işleme, akıllı iklim kontrol sistemleri ve biyofilik peyzaj tasarımları, bu teknolojik olanakların güncel uygulama alanlarına dönüşmesini sağlamıştır. Böylece geleneksel Anadolu mimarisinin özüne sadık kalınırken, modern yaşam konforu, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi çağdaş gereksinimlere de yanıt verilebilmektedir.

Sonuç olarak yapay zekâ ile desteklenen bu çağdaş yorumlar, Anadolu konut mimarisinin kültürel sürekliliğini sağlayarak geçmiş ile geleceği ilişkilendiren yeni nesil tasarım modelleri ortaya koymaktadır. Gelenekten beslenen, doğaya uyumlu, teknolojik ve estetik bütüncül çözümler, Anadolu'nun kadim yapı mirasını yalnızca korumakla kalmayıp, aynı zamanda yaşatarak geleceğe taşıma potansiyeli taşımaktadır. Bu yaklaşım, mimarlık disiplini için hem bir koruma stratejisi hem de yenilikçi bir tasarım yöntemi olarak önem taşımaktadır.

6.KAYNAKÇA

1. Abanda, F. H., & Byers, L. (2016). "Bir Konut Yapısında Bina Yöneliminin Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi: Gelişmekte Olan BIM Yaklaşımlarıyla Bir İnceleme." Enerji Dergisi, 97, 517–527.
2. Akın, N. (2001). Osmanlı Kentinde Konut ve Yerleşim. İstanbul: Literatür Yayıncılık.
3. Asatekin, G. (2005). Türkiye'de Konut ve Konut Politikaları: Cumhuriyet Döneminde Konut Üretimi ve Planlaması. Ankara: TMMOB Mimarlar Odası Yayını.
4. Bekleyen, A., & Dalkılıç, N. (2011). Mardin Geleneksel Konutlarının İklimsel ve Kültürel Etkilere Göre Biçimlenmesi. *Procedia Engineering*, 21, 794-802.
5. Bolognesi, C. M., & Scianna, A. (2021). "Mimari Tasarımda Yapay Zekâ: Araçlar ve Kuramlar." Uluslararası Mimari Hesaplama Dergisi, 19(1), 31–49. https://doi.org/10.1177/1478077121992292
6. Bozdoğan, S. (2001). Modernism and Nation Building: Turkish Architectural Culture in the Early Republic. Seattle: University of Washington Press.
7. Canizaro, V. B. (2007). *Mimari Bölgeselcilik: Yer, Kimlik, Modernite ve Geleneğe Dair Yazılar.* New York: Princeton Architectural Press.
8. Cansever, T. (1991). Kenti Kurmak. İstanbul: T.C. Kültür Bakanlığı Yayınları.
9. Cantrell, B., & Holzman, A. (2016). Tepkisel Peyzajlar: Peyzaj Mimarlığında Duyarlı Teknolojiler İçin Stratejiler (Orijinal eser: Responsive Landscapes).
10. Crevier, D. (1993). *Yapay Zekâ: Yapay Zekâ Araştırmalarının Çalkantılı Tarihi.* New York: Basic Books.
11. Eldem, S. H. (1984). Türk Evi Plan Tipleri. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yayınları.
12. Eruzun, C. (1990). Anadolu'da Geleneksel Konut Mimarisi. *Mimarlık Dergisi*, 261, 22-30.
13. Erzen, J. N. (2001). "Geleneksel Türk Konutu ve Mekânın Anlamı." METU Journal of the Faculty of Architecture, 18(1–2), 23–36.
14. Eyüce, A. (2000). Geleneksel Türk Evi: Mekân, Kültür ve Kimlik. İstanbul: Birsen Yayınevi.
15. Frampton, K. (1983). Eleştirel Bölgeselciliğe Doğru: Direnç Mimarisi İçin Altı İlke. H. Foster (Ed.), *Anti-Aesthetic: Postmodern Kültür Üzerine Denemeler* içinde (s. 16-30). Seattle: Bay Press.
16. Goodfellow, I. vd. (2014). Üretken Çekişmeli Ağlar. *Neural Information Processing Systems (NeurIPS)* Bildirileri, 27.
17. Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2021). *Eğitimde Yapay Zekâ: Vaatler ve Uygulamalar.* Boston: Center for Curriculum Redesign.
18. Kalay, Y. E. (2004). Mimarlığın Yeni Medyası: Bilgisayar Destekli Tasarımın İlkeleri, Kuramları ve Yöntemleri (Orijinal eser: Architecture's New Media).
19. Koçyiğit, N. (2010). Geleneksel Türk Konutlarında Mekânsal Organizasyon. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(2), 45-56.
20. Kuban, D. (1995). *Türk Hayatlı Evi.* İstanbul: Kültür Bakanlığı Yayınları.
21. Kuran, A. (1986). Osmanlı Dönemi Konut Mimarisinde Yapı ve Mekân Özellikleri. Ankara: ODTÜ Mimarlık Fakültesi Yayınları.
22. Li, C., & Wang, Y. (2020). "Kültürel Miras ve Yapay Zekâ: Gelecek Odaklı Bir Perspektif." Dijital Arkeoloji ve Kültürel Miras Uygulamaları, 17, e00144. https://doi.org/10.1016/j.daach.2020.e00144
23. Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Yapay Zekânın Eğitime Katkısı: AI'nin Eğitime Getirdiği Olanaklar.* Pearson Education.
24. McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., & Shannon, C. (1956). Dartmouth Yaz Araştırma Projesi İçin Teklif: Yapay Zekâ.
25. Nilsson, N. J. (2009). *Yapay Zekâ Arayışı.* Cambridge: Cambridge University Press.

26. Oxman, R. (2017). Farklı Düşünmek: Parametrik Tasarım Düşüncesinin Kuramları ve Modelleri. *Design Studies*, 52, 4-39.
27. Özdeniz, M. B., & Sert, H. (1997). Türkiye'nin Doğu Akdeniz Bölgesinde Geleneksel Mimarlığın İklimsel Tasarımı. *Building and Environment*, 32(3), 225-234.
28. Özer, M. A. (2013). Geleneksel Türk Evlerinin Mimari Özellikleri ve Mekân Organizasyonu Üzerine Bir İnceleme. İTÜ Dergisi/a, 12(2), 45–60.
29. Özkan, S. (2005). Mimarlıkta Yerellik ve Evrensellik. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.
30. Pedreschi, R., & Williams, C. (2018). Sayısal Teknoloji ve Mimari Tasarım: Kültürel Miras Yorumlamasında Yeni Yöntemler. *International Journal of Architectural Computing*, 16(1), 40-54.
31. Rapoport, A. (1969). Ev Biçimi ve Kültür (House Form and Culture).
32. Reichstein, M. vd. (2019). Derin Öğrenme ve Süreç Anlayışı: Veri Tabanlı Dünya Sistemleri Bilimi için Birleştirme. *Nature*, 566(7743), 195–204.
33. Rolnick, D. vd. (2019). İklim Değişikliği ile Mücadelede Makine Öğrenmesi Kullanımı. *arXiv preprint arXiv:1906.05433*.
34. Russell, S., & Norvig, P. (2020). *Yapay Zekâ: Modern Bir Yaklaşım* (4. baskı). Pearson.
35. Savaş, Ö., & Yıldırım, M. (2019). "Yapay Zekâ Tabanlı Tasarım Araçlarının Mimarlık Eğitimindeki Kullanımı." Mimarlık ve Eğitim Dergisi, 5(1), 66–81.
36. slan, Z. (2005). *Geleneksel Türk Evi: Mekân, Kültür ve Mimari Özellikler.* İstanbul: YEM Yayın.
37. Stojanovski, T., Biloria, N., & Çelik, Ö. (2022). Mimarlıkta Yapay Zekâ: Alanın Haritalanması. *International Journal of Architectural Computing*, 20(2), 159-178.
38. Teboul, B., Mas, A., Bessiere, P., & Morel, J. M. (2021). Mimarlıkta Veri Tabanlı Tasarım: Makine Öğrenmesi ile Tasarım Alternatifleri Üretimi. *Automation in Construction*, 125.
39. Topol, E. (2019). *Derin Tıp: Yapay Zekâ Sağlığı Nasıl İnsanileştirebilir?* New York: Basic Books.
40. Tuncer, B. (2022). "Mimari Mirasın Yorumlanmasında Yapay Zekâ: Potansiyeller ve Zorluklar." Yapı Otomasyonu Dergisi (Automation in Construction), 134, 104043. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104043
41. Uğurlu, E. (2015). Anadolu Kentlerinde Mahalle Kültürü ve Kentsel Doku İlişkisi. Planlama, 25(3), 34–49.
42. Yetkin, S. (1981). *Osmanlı Mimarisinde Türk Evi.* Ankara: Türkiye İş Bankası Yayınları.
43. Zhang, Y., Zheng, Y., & Wang, J. (2021). Yeşil Kentsel Planlamada Yapay Zekâ: Güncel Gelişmeler ve Gelecek Beklentiler. *Sustainable Cities and Society*, 74.

ŞEHİR İÇİ YAYA KALDIRIMLARINDA HİZMET DÜZEYLERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Arş. Gör. Duygu ŞENOL
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi,
duygusenol@iyte.edu.tr, senol.duygu@ogr.deu.edu.tr - 0000-0002-6053-2055

Doç. Dr. Süheyla Pelin ÇALIŞKANELLİ
Dokuz Eylül Üniversitesi,
pelin.caliskanelli@deu.edu.tr - 0000-0002-0530-3276

Prof. Dr. Serhan TANYEL
Dokuz Eylül Üniversitesi,
serhan.tanyel@deu.edu.tr - 0000-0001-8549-9442

ÖZET

Kentsel ulaşımın sürdürülebilirliği açısından yaya hareketliliği büyük önem taşımakta, bu kapsamda kaldırım hizmet düzeylerinin (SLOS) belirlenmesi kritik hale gelmektedir. Bu çalışmada, İzmir Alsancak Garı karşısında yer alan yoğun yaya kullanımına sahip bir kaldırım kesiti, Highway Capacity Manual (HCM 2010) yöntemi ile ve gözleme dayalı anlık hız ve yoğunluk ölçümleri ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Çalışma alanı, fiziksel özellikler ve yaya akışı dikkate alınarak beş farklı kesime ayrılmış; her kesimde yaya sayısı, yaya hızı, kişi başına düşen alan gibi göstergeler ölçülmüştür. Ayrıca, yaya profili cinsiyet temelinde sınıflandırılmıştır. HCM 2010 yöntemi sabit hız ve ideal koşullar varsayarken, gözlemsel yöntem gerçek zamanlı yaya davranışlarını yansıtmaktadır.

Sonuçlar, özellikle fiziksel engel bulunan (örneğin ATM cihazı) veya dar geçişli kesimlerde HCM 2010'un gerçek yoğunluğu yansıtmakta yetersiz kaldığını göstermiştir. HCM'ye göre "A" düzeyinde olan bazı kesimler, gözlemsel verilerle "E" ve "F" düzeyine karşılık gelmiştir. Bu çalışma, kentsel kaldırımlarda hizmet düzeyi analizlerinin yalnızca standart yöntemlerle değil, sahaya özgü dinamikleri ve kullanıcı davranışlarını dikkate alan çok boyutlu yaklaşımlarla gerçekleştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bulgular, yaya dostu ve erişilebilir kent tasarımı için önemli girdiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kaldırım hizmet düzeyi, HCM 2010, gözlemsel analiz, yaya yoğunluğu, kentsel altyapı

1. GİRİŞ

Kentsel ulaşım sistemlerinin sürdürülebilirliği, sadece motorlu taşıt akışının düzenlenmesiyle değil, aynı zamanda yaya hareketliliğinin desteklenmesiyle mümkündür. Günümüzde kent içi ulaşım planlamasında, yaya altyapısının kalitesi, güvenliği ve erişilebilirliği ön plana çıkmaktadır. Bu doğrultuda kaldırımlar, yaya ulaşımının fiziksel temellerinden biri olarak, sadece yapısal değil aynı zamanda işlevsel performanslarıyla da değerlendirilmesi gereken bileşenlerdir. Bu değerlendirmeler, genellikle "Kaldırım Hizmet Düzeyi" (Sidewalk Level of Service – SLOS) kavramı altında yürütülmekte ve yayaların konforlu, güvenli ve kesintisiz biçimde hareket etmesini sağlayan koşulların analiz edilmesini amaçlamaktadır.

Kaldırım hizmet düzeyi analizinde en yaygın olarak başvurulan yöntemlerden biri, *Highway Capacity Manual (HCM 2010)* tarafından önerilen yöntemdir. Bu yaklaşımda hizmet düzeyi, yaya yoğunluğu, yürüyüş hızı, kişi başına düşen alan ve kaldırımın efektif genişliği gibi değişkenler üzerinden hesaplanmakta ve A'dan F'ye kadar derecelendirme yapılmaktadır (Transportation Research Board, 2010). HCM 2010 yaklaşımı, objektif ve tekrarlanabilir ölçütler sunması açısından planlamacı ve mühendisler için önemli bir çerçeve sunmaktadır.

Ancak literatürde bu yöntemin belirli kısıtları olduğu da belirtilmiştir. Özellikle ışıklı kavşaklara ve yaya geçitlerine yakın kaldırımlarda, yaya davranışları, sinyal süreleri ve bekleme kaynaklı yığılmalar gibi dinamikler, hizmet düzeyini fiziksel ölçütlerin ötesinde etkilemektedir (Lee, 2012; Karataş, Tuydes ve Yaman, 2018). Örneğin Kang, Xiong ve Mannering (2013), kaldırım üzerinde bisikletlilerin bulunmasının ve yaya geçitlerinin yakınlığının, kullanıcıların algıladığı konfor ve güvenliği belirgin şekilde değiştirdiğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Bivina ve Parida (2019), yaya memnuniyetinin; temizlik, aydınlatma, engellerin varlığı ve güvenlik algısı gibi çevresel faktörlerle yakından ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Tayland'daki bir başka çalışmada, Hidayat ve arkadaşları (2010), sokak satıcıları ve ışıklı yaya geçitlerinin kaldırım kullanımını ve yaya akışını olumsuz etkilediğini göstermiştir.

Öte yandan, geleneksel yöntemlerin sınırlarını aşmak amacıyla bazı araştırmacılar yapay zekâ ve bulanık mantık temelli çok kriterli sınıflandırma yaklaşımlarına yönelmiştir. Özellikle Hindistan gibi heterojen yaya ortamlarının bulunduğu ülkelerde, Bulanık genetik algoritma (Fuzzy-GA) ve özdüzenleyici harita (Self-Organizing Map) gibi yöntemlerin daha hassas sınıflandırmalar yaptığı gösterilmiştir (Sahani & Bhuyan, 2017).

Türkiye bağlamında Karataş ve Tuydes Yaman (2018), 81 lokasyon üzerinde üç farklı kaldırım hizmet düzeyi yöntemini karşılaştırmış ve yöntemler arasında anlamlı farklılıklar bulunduğunu tespit etmiştir. Bu durum, saha koşullarına ve kullanıcı davranışlarına duyarlı çok boyutlu analiz yöntemlerine olan gereksinimi ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, fiziksel ölçütlere dayalı HCM 2010 yöntemi, altyapı planlaması ve kapasite hesaplamaları açısından hâlâ en yaygın ve kabul görmüş yöntemlerden biridir.

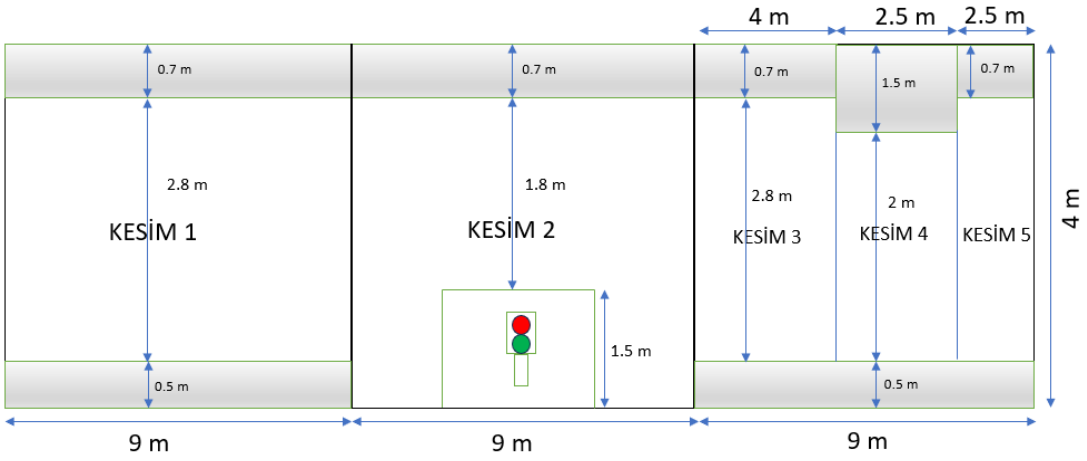
Çalışmanın amacı; yaya geçitlerindeki yaya bekleme alanlarının, kaldırımı kullanan diğer yayalara sunulan hizmet kalitesini ne oranda etkilediğinin belirlenmesidir. Yaya geçidinde bekleyen yayalar (YGBY), kaldırımda hareket eden yayalara (KHY) ait etkin hareket alanını daraltmakta, bu da özellikle yaşlı ve engelli bireylerin bu kesimlerdeki hareket konforunu azaltmaktadır. Her iki yaya grubuna da yeterli ve konforlu alanın sağlanması önem taşımaktadır. Yeterli alan sağlanmadığı takdirde her iki grubun da olumsuz etkileneceği açıktır. Çalışma amacı doğrultusunda İzmir ili Konak ilçesi, Alsancak Garı karşısında bulunan kaldırımdan toplanan verilerden yararlanılarak *HCM 2010* yaklaşımı ve gözlemsel hız ve yoğunlukların belirlenmesine dayalı yöntem ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Yaya kaldırımı hizmet düzeylerinin farklı kullanım özellikleri, (Farklı aktivite özelliklerine göre, örneğin; yaya geçidi bekleme alanı, dükkan, ATM ve benzeri kullanım şekilleri vs.) dikkate alınarak nasıl değiştiği irdelenmiştir. Çalışma sonucunda benzer kentsel kavşaklarda yapılacak düzenlemeler ve tasarım kararları açısından karşılaştırmalı bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir.

2. METODOLOJİ

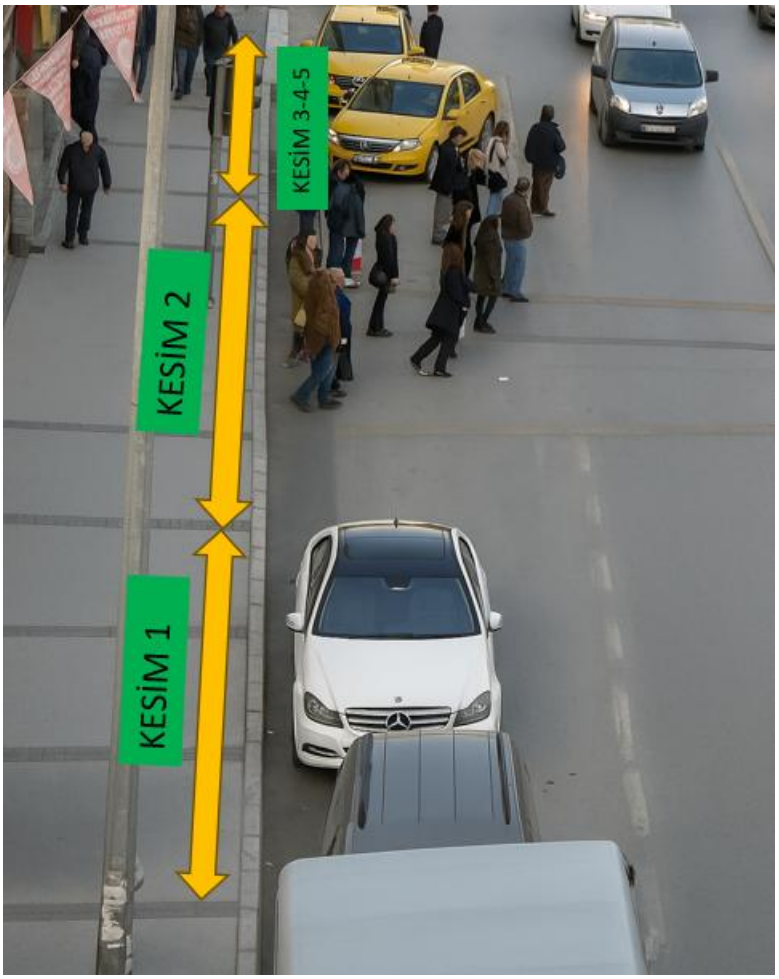
2.1. Gözlemlenen Bölgenin Tanıtılması

Saha uygulaması, İzmir'in Konak ilçesinde yer alan Alsancak Garı karşısındaki ışıklı kavşakta bulunan yaya kaldırımında gerçekleştirilmiştir. Gözlem alanı, yayaların yoğun olarak kullandığı ve ışıklı geçidin etkili olduğu bir kentsel konumda yer almaktadır.

Kaldırım, fiziki uzunluk, genişlik, sabit engeller ve yaya akım özellikleri dikkate alınarak beş farklı kesime ayrılmıştır. Görsel 1, çalışmaya konu olan kaldırım alanının plan görünümünü sunmakta ve her bir kesimin fiziksel konumunu şematik olarak göstermektedir. Görsel 2 ise kaldırıma ait gerçek görüntüyü sunmaktadır.



Görsel 1. Alsancak Garı Karşısında Yer Alan Yaya Kaldırımının Plan Görünümü



Görsel 2. Alsancak Garı Karşısında Yer Alan Yaya Kaldırıma Ait Gerçek Görüntü

Kesimlerin temel boyutları ve fiziksel özellikleri, Çizelge 1'de ayrıntılı şekilde sunulmuştur. Bu çizelge, her bir kaldırım kesiminin uzunluk ve genişlik ölçülerinin yanı sıra varsa fiziksel engel durumlarını da özetlemektedir. Çizelge, analiz öncesinde alana ilişkin fiziksel bağlamı ortaya koyarak, her bir kesimin yaya hareketi üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmek açısından önemli bir zemin oluşturmaktadır.

KESİM 2, ışıklı yaya geçidine komşu olup, trafik ışığı direği kaynaklı bekleme ve yaya birikiminin yoğun olarak gözlendiği kritik bir noktadır. Bu alanda sinyal süresi boyunca biriken yayalar, geçiş anında ani yaya akımı yoğunluklarına neden olmaktadır.

KESİM 4, kaldırım üzerinde yer alan ATM cihazı ve banka girişinin oluşturduğu fiziksel engeller nedeniyle yaya geçişlerini kısıtlayan bir bölgedir. Bu kesimde yayaların yön değiştirme davranışları ve geçişte yavaşlama sıkça gözlemlenmiştir.

Çizelge 1. Kesimlerin Temel Boyutları ve Fiziksel Özellikleri

Kesim No	Uzunluk (m)	Genişlik (m)	Fiziksel Engel Durumu	Açıklama
1	9	2,8	Yok	Serbest yaya geçişi, referans kesim
2	9	1,8	Trafik ışığı direği (1,5 m)	Işıklı geçide komşu, bekleme alanı, yaya birikimi
3	4	2,8	Yok	Dar kesit, geçiş konforu sınırlı
4	2,5	2	ATM + banka girişi (1,5 m)	Genişlik sınırlı
5	2,5	2,8	Yok	Genişlik sınırlı, ancak engel bulunmuyor

Her kesimde, her biri 150 saniye olan 20 devre boyunca veri toplanmış; yaya sayısı, yoğunluk, hız ve kişi başına düşen alan gibi göstergeler ölçülerek kaldırım hizmet düzey değerlendirmeleri yapılmıştır.

2.2. Yöntemler

Bu çalışmada iki farklı yöntem kullanılarak kaldırım hizmet düzeyleri hesaplanmıştır. Bunlardan ilki, HCM 2010'da önerilen yoğunluk değerlerine dayalı standart yöntem, ikincisi ise, saha gözlemlerine bağlı olarak anlık hız ve yoğunluk hesaplarına dayanan yöntemdir. Her iki yöntem, kaldırımların etkin kullanım alanları ve yaya konforuna dair farklı bakış açıları sunmaktadır. Bu nedenle yöntemlerin sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

2.2.1. HCM 2010 Yöntemi

HCM 2010 yöntemi, kaldırımlardaki hizmet düzeyini belirlemek için metrekare başına düşen yaya sayısını (yaya /m²) esas alır. Bu değer aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$Yaya\ Yoğunluğu\ (D) = \frac{V}{W.S}$$

Burada, V: Yaya hacmi (kişi/saat); W: Net kaldırım genişliği (metre); S: Ortalama yaya hızı (m/s)

Hız (S) değeri, çalışma kapsamında HCM'de önerilmiş olan kadın yayalar için ortalama 1,1 m/s, erkek yayalar için ortalama 1,3 m/s değerleri kullanılarak, saha gözlemlerine dayalı cinsiyet oranlarına göre ağırlıklı ortalama ile belirlenmiştir. Her bir devre için elde edilen saatlik hacim ve hız değerleriyle birlikte efektif geçiş genişliği dikkate alınarak yaya yoğunluğu (D) hesaplanmış ve hizmet düzeyi Çizelge 2'deki sınıflandırmaya göre belirlenmiştir.

Çizelge 2. HCM 2010'a Göre Kaldırım Hizmet Düzeyi Sınıflandırması

Hizmet Düzeyi	Ortalama Yoğunluk (yaya/m²)	Açıklama
A	0 – 0,31	Bol alan, serbest yürüyüş
B	0,31 – 0,43	Rahat geçiş, sınırlı etkileşim
C	0,43 – 0,72	Bazı etkileşimler, orta geçiş kolaylığı
D	0,72 – 1,08	Yüksek yoğunluk, sık etkileşim
E	1,08 – 1,63	Çok yoğun, sınırlı manevra
F	>1,63	Aşırı kalabalık, hareket sınırlı

2.2.2. Gözleme Dayalı Anlık Hız ve Yoğunluk Yöntemi

Bu yöntemde, gözlemsel olarak tespit edilen yaya sayısı temel alınarak yaya hacmi (yaya/sn) ve efektif geçiş genişliği (m) dikkate alınarak her bir devre için yoğunluk değerleri (yaya/m²) hesaplanmıştır. Elde edilen yoğunluk değerlerine göre her kesim için ortalama yaya hızı ve hizmet düzeyi Çizelge 2'deki sınıflandırmaya göre belirlenmiştir.

Gözlemlerde yayaların noktasal hızları her bir devre süresi için ayrı olarak toplanmıştır. Hızların belirlenmesinde hareketine devam eden yayalar dikkate alınmıştır. Duran veya yön değiştiren yayalar çalışma kapsamı dışında bırakılmıştır. Hareket eden yayaların efektif kullandığı alanlara bağlı olarak metrekareye düşen yaya sayıları gözlemlenmiş ve buna bağlı olarak yoğunluk değerleri hesaplanmıştır. Kesimlerdeki yoğunluklar belirlenirken Görsel 1 de sunulmuş olan efektif kaldırım genişlikleri esas alınmıştır. Bu kaldırım genişlikleri HCM 2010'da sunulmuş olan efektif değerlere göre belirlenmiştir. Kesim 2'de özellikle trafik ışık direğinin efektif genişliği belirleyici olup, elde edilen sonuçların bu yaklaşıma göre değerlendirilmesi uygun olacaktır.

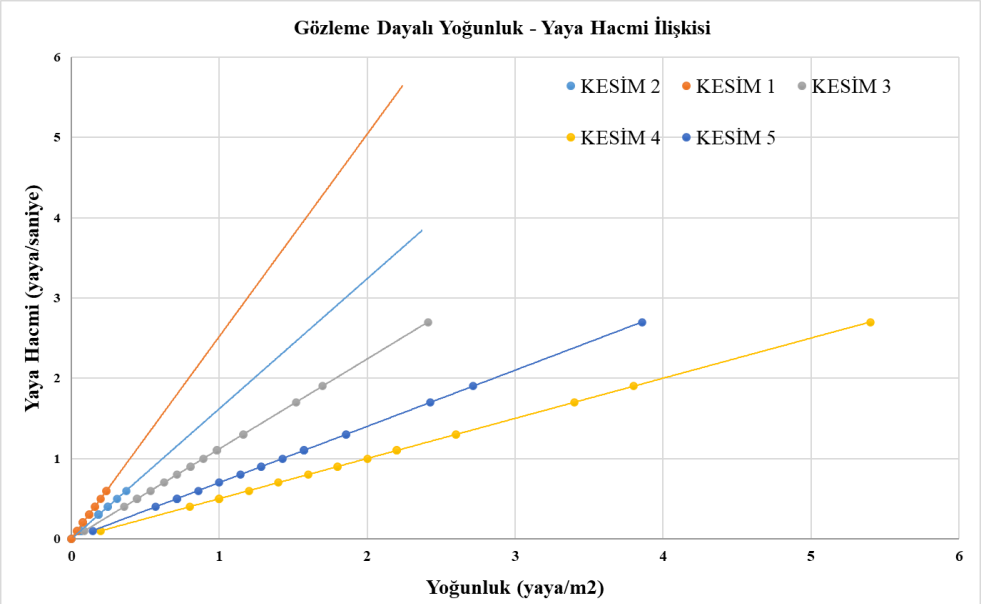
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, her beş kesim için HCM 2010 yöntemi ve gözleme dayalı yönteme göre elde edilen ortalama hız, yoğunluk ve hizmet düzeyi sonuçları sunulmaktadır. HCM 2010 yöntemi ile belirlenen yoğunluk değerleri ile gözlemsel yoğunluk değerleri, Çizelge 2'ye göre değerlendirilmiştir. Çizelge 3, her iki yönteme ait ortalama hız ve yoğunluk sonuçlarını ve her bir kesime ait hizmet düzeylerini sunmaktadır. Görsel 3 ise gözlemsel yönteme dayanarak yapılan hesaplara göre her bir kesime ait hacim ve yoğunluk değerlerini temsil etmektedir. Görsel 4 ve Görsel 5 ise, her bir kaldırım kesimi için HCM 2010 yöntemi ve gözleme dayalı yöntemle elde edilen yoğunluk ve hız değerlerinin karşılaştırmalı analizini sunmaktadır.

Çizelge 3. HCM 2010 ve Gözleme Dayalı Yöntemin KHD Karşılaştırması

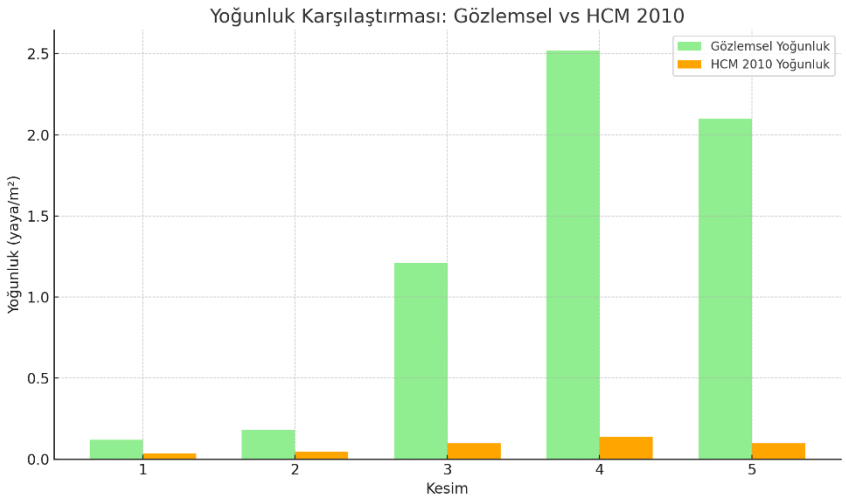
Kesim	Gözlemsel Ortalama Hız (m/s)	Gözlemsel Yoğunluk (yaya/m²)	Gözlemsel Hizmet Düzeyi	HCM 2010 Ortalama Hız (m/s)	HCM 2010 Yoğunluk (yaya/m²)	HCM 2010 Hizmet Düzeyi

1	0,90	0,12	**A**	1,22	0,036	**A**
2	0,90	0,18	**A**	1,24	0,046	**A**
3	0,40	1,21	**E**	1,23	0,098	**A**
4	0,25	2,52	**F**	1,23	0,138	**A**
5	0,25	2,10	**F**	1,23	0,098	**A**



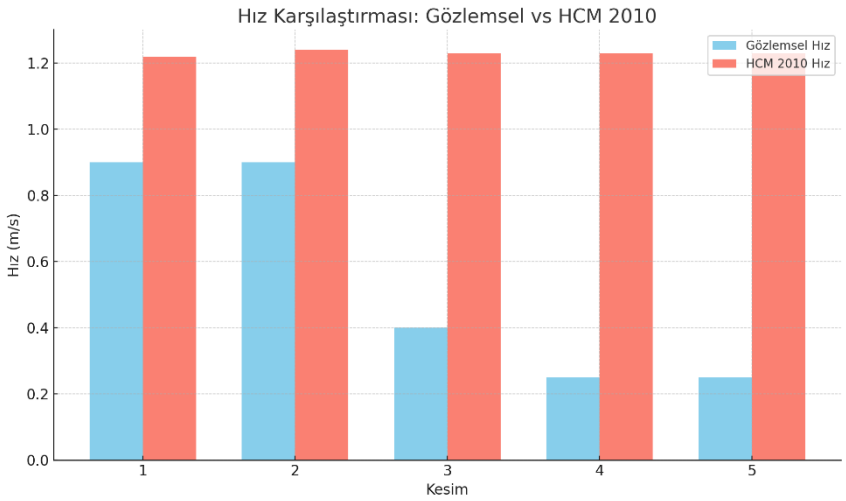
Görsel 3. Kesimlere ait gözlemsel yoğunluk değerleri ile yaya hacim değerleri

Görsel 4'te, beş kesime ait gözlemsel yoğunluk değerleri ile HCM 2010'a göre hesaplanan teorik yoğunluklar karşılaştırılmıştır. Grafik, özellikle Kesim 3, 4 ve 5'te gözlemsel yoğunlukların, HCM 2010 hesaplamalarına göre çok daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu fark, HCM 2010 yönteminin dinamik yaya birikimlerini yeterince yansıtamadığını göstermektedir. Özellikle Kesim 4'te (ATM ve banka girişi önünde), gözlemsel yoğunluk yaklaşık 2,5 yaya/m² ile aşırı kalabalık (Hizmet Düzeyi F) bir durumu temsil ederken, HCM yöntemi bu değeri yalnızca 0,138 yaya/m² olarak belirlemiştir. Bu durum, sabit fiziksel engellerin yaya akışına etkisini HCM'nin yeterince hesaba katmadığını göstermektedir.



Görsel 4. Kesimlere ait gözlemsel yoğunluk değerleri ile HCM 2010'a göre hesaplanan yoğunluk değerlerinin karşılaştırılması

Görsel 5 ise her kesimdeki ortalama yaya hızlarını sunmakta ve HCM 2010 yöntemi ile gözlemsel hız değerleri arasındaki farkları görselleştirmektedir. Gözlemsel hızlar özellikle Kesim 3, 4 ve 5'te 0,4 m/s altına düşerken; HCM 2010 sabit ortalama hız varsayımı ile bu değerleri her kesimde 1,23 m/s civarında tutmuştur. Bu durum, yüksek yoğunluk altında yayaların gerçek yürüme hızının önemli ölçüde azaldığını ve HCM yöntemi kapsamında önerilen ortalama hız değerlerinin kullanılmasının bu düşüşü yansıtmakta yetersiz kaldığını göstermektedir. Özellikle dar alanlarda veya bekleme davranışının gözlendiği kesimlerde (örneğin ışıklı geçide komşu Kesim 2 veya fiziksel kısıtlı Kesim 4), hız düşüşü çok daha belirgindir.



Görsel 5. Kesimlere ait gözlemsel ortalama hız değerleri ile HCM 2010'a göre hesaplanan hız değerlerinin karşılaştırılması

Bu grafikler, HCM 2010'un sunduğu teorik hizmet düzeyi sonuçlarının, saha koşullarındaki yaya davranışları ile her zaman uyumlu olmadığını ortaya koymaktadır. Gerçek zamanlı gözlemsel verilerle yapılan analiz, özellikle engelli bireyler, yaşlılar veya çocuklu yayalar gibi kırılgan grupların etkilenebileceği alanlarda daha duyarlı değerlendirmeler yapılmasına olanak tanımaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, yoğun yaya kullanımına sahip kentsel kaldırım alanlarında hizmet düzeyini etkileyen faktörler, hem HCM 2010 yöntemi hem de saha gözlemlerine bağlı olarak anlık hız ve yoğunluk hesaplarına dayanan yönteme göre değerlendirilmiştir. İzmir Alsancak Garı karşısında yer alan ve fiziksel özelliklerine göre beş kesime ayrılan kaldırımda yapılan incelemeler, özellikle dar kesitler, sabit engeller ve yaya yoğunluğu artışlarının, yürüme konforunu ve kaldırım performansını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuştur.

HCM 2010 yöntemi, standart parametreler çerçevesinde teorik bir hizmet düzeyi belirlemekte olup, sabit yaya hızları ve ideal koşullara dayalı yoğunluk hesaplamaları sunmaktadır. Ancak gözlemsel veriler, bu yaklaşımın gerçek saha koşullarını her zaman yansıtamadığını göstermektedir. Özellikle fiziksel engellerin bulunduğu veya geçici yığılmaların yaşandığı kesimlerde, HCM 2010'a göre hizmet düzeyi "A" çıkmasına rağmen, gözleme dayalı analizler bu alanlarda "E" veya "F" düzeyinde hizmet sağlandığını ortaya koymuştur.

Gerçekleştirilen hız ve yoğunluk ölçümleri, özellikle dar geçiş alanlarında yaya hızlarının belirgin şekilde azaldığını göstermektedir. Gözlemsel hızlar bazı kesimlerde 0,25 m/s seviyesine kadar düşerken, HCM 2010 sabit ortalama hız değerlerini her kesim için korumuştur. Bu farklar, özellikle yaşlı bireyler, engelliler ve çocuklu yayalar gibi hassas kullanıcı grupları açısından mevcut altyapının yetersizliklerini göz önüne sermektedir.

Grafiksel karşılaştırmalar da bu durumu desteklemektedir. Görsel 4 ve Görsel 5'te yer alan karşılaştırmalı analizler, sahadaki yoğunluk ve hız değerlerinin HCM 2010'un öngördüğü teorik seviyelerden ciddi şekilde sapma gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, kaldırım hizmet düzeyi analizlerinde yalnızca fiziksel ölçütlere değil, aynı zamanda gerçek zamanlı davranışsal verilere de odaklanılması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, çalışma kentsel alanlarda yaya altyapısının değerlendirilmesinde yalnızca standart yöntemlere bağlı kalınmaması gerektiğini ortaya koymakta; sahaya özgü dinamikleri dikkate alan çok boyutlu analizlerin önemine dikkat çekmektedir. Gelecekteki çalışmalarda farklı kullanıcı profillerine yönelik detaylı analizler yapılması ve yapay zekâ destekli gözlem tekniklerinin entegre edilmesi, kentsel yaya alanlarının daha kapsayıcı ve işlevsel biçimde tasarlanmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Bivina, G. R., & Parida, M., Modelling perceived pedestrian level of service of sidewalks: A structural equation approach. Transport, 34(3), 339–350, 2019.

2. Hidayat, N., Choocharukul, K., & Kishi, K., *Analysis of sidewalk level of service incorporating pedestrian's perceptions*, In Proceedings of the 7th National Transport Conference: Towards Traffic and Transport Safety, 1–10, Bangkok, Thailand, 2010.

3. Kang, L., Xiong, Y., & Mannering, F. L., Statistical analysis of pedestrian perceptions of sidewalk level of service in the presence of bicycles. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 53, 10–21, 2013.

4. Karataş, P., Tuydes Yaman, H., Variability in sidewalk pedestrian level of service measures and rating. Journal of Urban Planning and Development, 144(4), 0401804, 2018.

5. Lee, S.-H., Improvement of analysis method for pedestrian LOS on sidewalk in Seoul. Journal of Korean Society of Transportation, 30(3), 7–15, 2012.

6. Nag, D., Goswami, A. K., Gupta, A., & Sen, J., Assessing urban sidewalk networks based on three constructs: A synthesis of pedestrian level of service literature. Transport Reviews, 40(2), 204–240, 2020.

7. Sahani, R., & Bhuyan, P. K. (2017). Pedestrian level of service criteria for urban off-street facilities in mid-sized cities. Transport, 32(2), 221–232, 2017.

8. Transportation Research Board., *Highway Capacity Manual 2010* (5th ed.). Washington, D.C.: National Research Council, 2010.

HİBRİT FRP-ÇELİK DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Emre BOZDOĞAN

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

emre.bozdogan@kambeton.com.tr ORCID ID: 0009-0006-9657-3031

Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

stokgoz@atu.edu.tr ORCID ID: 0000-0003-4885-1683

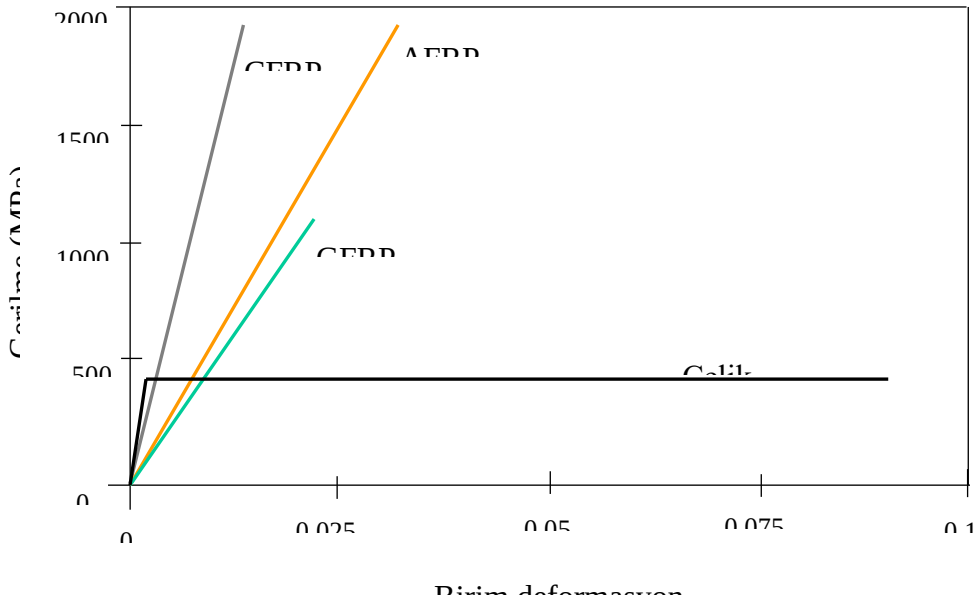
ÖZET:

Betonarme yapılarda kullanılan çelik donatılarda paslanma meydana gelmesi nedeniyle fiber takviyeli polimer (FRP) donatılar yapılarda çelik donatıya alternatif olarak kullanılabilmektedir. FRP donatılar yüksek çekme dayanımına sahip olmalarının yanında hafif olmaları, elektrik iletkenliği olmaması ve yüksek korozyon direncine sahip olmaları nedenleri ile betonarme yapılarda avantaj sağlamaktadırlar. Ancak FRP donatılar yük etkisi altında elastik davranış sergilemekte ve düşük elastisite modülüne sahiptirler. Bu nedenle FRP donatılı betonarme kiriş elamanlarda denge üstü tasarım önerilmektedir. FRP donatılar çeşitli malzemelerle üretilebilmektedir. Bunlardan başlıcaları cam fiber takviyeli polimer (GFRP), bazalt fiber takviyeli polimer (BFRP), karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ve aramid fiber takviyeli polimer (AFRP) donatılardır. FRP donatılı betonarme kirişlerde daha sünek davranış sağlamak üzere elemanlarda sadece FRP donatı kullanımı yerine FRP ile çelik donatıdan oluşan hibrit donatılı tasarım ile olumlu yapısal davranış sağlanabilmektedir. Sunulan çalışmada, hibrit FRP-çelik donatılı betonarme kirişlerin dört nokta yüklemesi altında eğilme davranışı incelenmektedir. Analizde betonun doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmaktadır. Bunun için kiriş beton basınç bölgesi şeritlere bölünmekte ve her bir şeritin gerilme değeri hesaplanmak suretiyle beton gerilme dağılım modeli hesaplara yansıtılmaktadır. Yapılan analizlerde, beton basınç dayanımı, kesme açıklığı, FRP donatı türü ve FRP donatı dayanımının hibrit donatılı kirişlerin eğilme davranışı üzerinde önemli rol oynadığı belirlenmiştir. Hibrit donatılı betonarme kirişlerde GFRP donatı yerine daha yüksek dayanıma ve yüksek elastisite modülüne sahip CFRP donatı kullanılması ile kiriş yük taşıma kapasitesinde önemli artış sağlandığı belirlenmiştir. Sunulan çalışmada, hibrit donatılı kirişlerin taşıma gücü kapasiteleri ve kirişlerin eğilme altındaki davranışları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: FRP, hibrit donatı, betonarme kiriş, taşıma gücü, dört nokta yüklemesi.

1. GİRİŞ

Fiber takviyeli polimer (FRP) donatılar özellikle asidik çevre koşullarında yapılarda korozyona uğrayan çelik donatıların yerine alternatif malzeme olarak kullanım alanı bulmaktadır. FRP donatılar yüksek çekme mukavemetine sahip olup korozyona karşı dayanımı oldukça yüksektir (Issa ve diğ. 2011, Barris ve diğ. 2013, Abdelkerim ve diğ. 2019, Jafarzadeh ve Nematzadeh 2020, Ifrahim ve diğ. 2023). Bunların yanında FRP donatılar çeliğe göre daha hafiftir ve düşük oranda termal ve elektrik iletkenliğine sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı FRP donatıların betonarme yapılarda kullanımları giderek artmaktadır (Issa ve diğ 2011, Barris ve diğ 2013). FRP donatılar; cam fiber takviyeli polimer (GFRP), bazalt fiber takviyeli polimer (BFRP), karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ve aramid fiber takviyeli polimer (AFRP) olarak üretilmektedir. Söz konusu fiber takviyeli polimer donatılar yük etkisi altında başlangıç anından kopma noktasına kadar elastik davranış sergilemektedirler. FRP donatıların örnek gerilme-birim deformasyon eğrisi Şekil 1'de sunulmuştur (Tarawneh ve diğ. 2024). FRP donatılı kirişlerde yük etkisi altında FRP donatının kopması ile oluşan ani kırılmanın önlenebilmesi için denge üstü olarak tasarımı önerilmektedir (ACI 440.1R-15). Bunun yanında, FRP donatılı kirişlerin sünekliğini artırmak üzere sadece FRP donatılı tasarımın yanı sıra FRP donatı ile çelik donatının birlikte kullanıldığı hibrit FRP-çelik donatılı kiriş tasarımı yapılabilmektedir. Bu tür malzemelerle yapılan betonarme elemanlarda FRP donatı ve çelik donatının avantajlarından yararlanılabilmektedir (Refai ve diğ. 2015, Ruan ve diğ. 2020, Tarawneh ve diğ. 2024, Wei ve diğ. 2024). Hibrit donatılı kirişlerde korozyona dayanıklı olan FRP donatıların beton kabuğuna yakın bölgelerde, çelik donatıların ise daha iç bölgede bulundurulması faydalı olmaktadır.



Şekil 1. Çeşitli FRP ve çelik donatı gerilme-birim deformasyon eğrileri

Yapılan çalışmalarda, hibrit FRP-çelik donatılı kirişlerde üç farklı şekilde kırılma biçimi meydana gelebileceği ortaya konulmuştur (Tarawneh ve diğ 2024). Söz konusu kırılma

biçimleri: (i) çeliğin akma konumuna ulaşmasından sonra FRP donatının kopması, (ii) Çeliğin akma konumuna ulaşmasından sonra betonun ezilme noktasına gelmesi ancak FRP donatıda kopma oluşmaması, (iii) Çeliğin akma konumuna ve FRP donatının kopma noktasına ulaşmadan betonda ezilmenin meydana gelmesi. Söz konusu üç durum arasında en uygun davranışı sergileyen donatı durumu ikinci maddede ifade edilen davranıştır. Yani beton ezilmeye ulaştığında çelik donatının akma konumunu aşmış olması, ancak FRP donatıda kopma meydana gelmemiş olması davranış açısından tercih edilen durumdur.

Sunulan çalışmada hibrit FRP-çelik donatılı betonarme kirişlerin tasarımı ve davranışı ele alınmaktadır. Kirişlerin taşıma kapasitesi ve yük-deplasman eğrilerinin elde edilmesi için teorik bir yöntem sunulmaktadır. Yöntemde betonun doğrusal olmayan davranışını hesaplara yansıtmak üzere beton basınç bölgesi şeritlere bölünmekte ve beton için doğrusal olmayan gerilme-birim deformasyon modeli dikkate alınmaktadır. Literatürde yer alan hibrit donatılı çalışmalar sunulan yöntem ile analiz edilerek hibrit donatılı kirişlerin dört nokta yüklemesi altında eğilme davranışı ortaya konulmaktadır. Çalışmada ayrıca dört nokta yüklemesine maruz hibrit donatılı kirişlerin eğilme davranışına etki eden parametreler ele alınmaktadır.

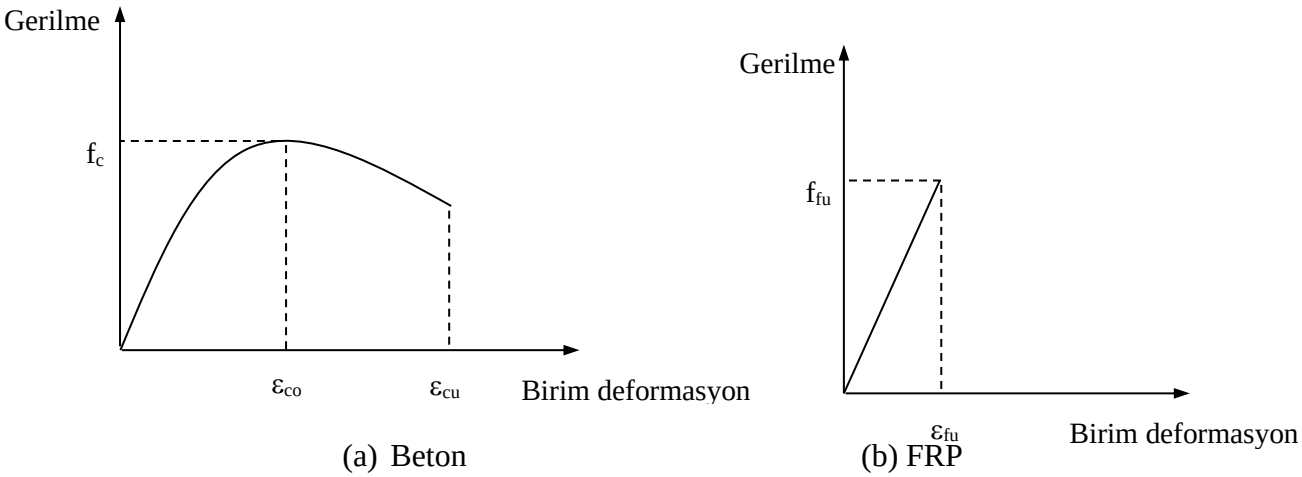
2. MATERYAL ve METOD

Sunulan çalışmada, hibrit FRP-çelik donatılı betonarme kirişlerin eğilme altında taşıma gücü ve yük-deplasman davranışının belirlenmesi üzerine bir yöntem ele alınmaktadır.

2.1. Yöntemde Kabul Edilen Varsayımlar:

(i) Eğilmeden önce düzlem olan kesitler eğilmeden sonra da düzlem kalır.
(ii) Betonun doğrusal olmayan davranışı esas alınmaktadır (Şekil 2a).
(iii) Çelik donatı için elasto-plastik davranış kabul edilmektedir ($\sigma_s=E_s\varepsilon_s\leq f_y$).
(iv) Beton ve donatı arasında tam aderans vardır.
(v) Betonun çekme dayanımına katkısı ihmal edilmektedir.
(vi) Betonun sünme ve büzülme etkileri ihmal edilmektedir.

Analizde beton gerilme-birim deformasyon ilişkisi için Hognestad modeli (Hognestad ve diğ. 1955) ele alınmaktadır (Şekil 2a).



(a) Beton (b) FRP

Şekil 2. Beton ve FRP donatı gerilme birim deformasyon eğrileri

Hognestad modelinde eğrinin artan bölümü:

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{co}}\right)^2\right] \qquad (0 \le \varepsilon_c \le \varepsilon_{co}) \qquad (1)$$

Eğrinin azalan bölümü:

$$\sigma_c = f_c \left[1 - 0.15\left(\frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{co}}{\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{co}}\right)\right] \quad , \quad (\varepsilon_{co} < \varepsilon_c \le \varepsilon_{cu}) \qquad (2)$$

ifadeleri ile tanımlanmaktadır. Burada, f_c beton basınç gerilmesi, ε_{co} maksimum gerilmeye karşılık gelen birim deformasyon, ε_{cu} beton en dış lif maksimum şekil değiştirme değerini göstermektedir.

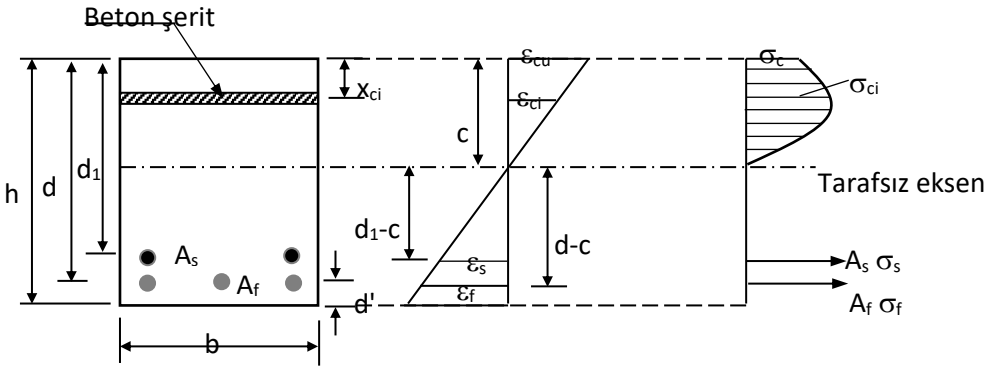
FRP donatıdaki gerilme:

$$\sigma_f = E_f \varepsilon_f \le f_{fu} \qquad (3)$$

denklemi ile belirlenir. Burada E_f FRP donatı elastisite modülü, ε_f FRP donatı şekil değiştirmesi, ε_{fu} FRP donatı kopma birim uzaması, f_{fu} ise FRP donatı maksimum çekme dayanımını ifade etmektedir.

2.2. Analiz Yöntemi

Şekil 3'de hibrit FRP-çelik donatılı betonarme kiriş kesiti, birim deformasyon dağılımı ve gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 3. Kiriş kesiti, birim deformasyon ve gerilme dağılımı

Burada, b kiriş genişliği, h kesit yüksekliği, c tarafsız eksen derinliği, ε_{ci} beton şerit birim deformasyonu, σ_{ci} beton şerit gerilmesi, x_{ci} beton şerit ağırlık merkezinin kesit en dış lifine olan uzaklığı, d FRP donatının en dış life olan uzaklığı, d_1 çelik donatının en dış life olan uzaklığı, ε_s çelik donatı birim deformasyonu, σ_s ve σ_f sırasıyla çelik ve FRP donatı gerilmesi, A_s ve A_f ise çelik ve FRP donatı alanını temsil etmektedir.

Kirişlerin çekme bölgesinde uygulanan FRP donatı ve çelik donatının donatı oranları (ρ_f ve ρ_s) aşağıda verilen ifadeler ile belirlenmektedir.

$$\rho_f = \frac{A_f}{bd} \quad (4)$$

$$\rho_s = \frac{A_s}{bd_1} \quad (5)$$

Kiriş davranışında betonun ezilmeye ulaştığında çelik donatının akma konumuna ulaşmış olması ancak FRP donatıda kopma meydana gelmemiş olması tercih edilen durum olduğundan söz konusu durumu sağlamak üzere bulundurulması gereken donatı oranı aşağıda belirtilen durumu sağlamalıdır.

$$\rho_{ef} > \rho_{fb} \quad \text{ve} \quad \rho_s < \rho_{sb}$$

$$\rho_{ef} = \frac{A_f}{bd} + \frac{A_s}{bd_1}\frac{f_y}{f_{fu}} \quad (6)$$

$$\rho_{fb} = 0.85\beta_1 \frac{f_c}{f_{fu}} \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_{fu}} \quad (7)$$

$$\rho_{sb} = 0.85\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+\varepsilon_y} \quad (8)$$

$$\beta_1 = 0.85 - 0.05\frac{f_c-28}{7} \geq 0.65 \quad (9)$$

Burada ρ_{ef} hibrit donatı oranı, ρ_{fb} FRP donatılı kesit dengeli donatı oranı, ρ_{sb} çelik donatılı betonarme kesit dengeli donatı oranını, f_y ve ε_y sırasıyla çeliğin akma dayanımı ve akma birim şekil değiştirmesini göstermektedir.

Analizde betonun doğrusal olmayan modelini hesaplara yansıtmak üzere kiriş beton basınç bölgesi şeritlere bölünmektedir. Her bir şeritin ağırlık merkezinde birim deformasyon hesaplanarak beton için kabul edilen gerilme-birim deformasyon modelinden gerilmeler elde edilmektedir. Beton şerit, FRP donatı ve çelik donatı şekil değiştirme değerleri birim deformasyon dağılımından;

$$\varepsilon_{ci} = \varepsilon_{cu}\frac{c-x_{ci}}{c}, \qquad \varepsilon_f = \varepsilon_{cu}\frac{d-c}{c}, \qquad \varepsilon_s = \varepsilon_{cu}\frac{d_1-c}{c} \quad (10)$$

İfadeleri ile elde edilir.

2.3. Kiriş Denge Denklemleri

Hibrit FRP-çelik donatılı kirişin kuvvet denge denklemi aşağıda yer almaktadır:

$$F = \sum_{i=1}^{n} A_{ci}\sigma_{ci} - A_f\sigma_f - A_s\sigma_s = 0 \quad (11)$$

Denklemi sağlayan tarafsız eksen derinliğinin (c) belirlenmesinden sonra kirişin taşıma gücü momenti aşağıda verilen ifade ile elde edilmektedir.

$$M = \sum_{i=1}^{n} A_{ci}\sigma_{ci}\left(\frac{h}{2} - x_{ci}\right) + A_f\sigma_f\left(\frac{h}{2} - d'\right) + A_s\sigma_s\left(d_1 - \frac{h}{2}\right) \quad (12)$$

Dört nokta yüklemesine maruz kirişin yük taşıma kapasitesi aşağıda sunulan ifade ile hesaplanır.

$$P = \frac{2M}{a} \quad (13)$$

Denklemlerde yer alan a kesme açıklığını (uygulanan yük ile mesnet arasındaki mesafe), n ise beton şerit sayısını temsil etmektedir. Kirişte ilk çatlağı meydana getiren çatlama momenti (ACI 440.1R-15):

$$M_{cr} = \frac{0.62\lambda\sqrt{f_c I_g}}{y_t} \quad (14)$$

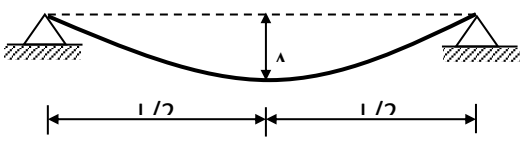
ifadesi ile belirlenir. Burada I_g tüm kesit atalet momentini, y_t ise kesit ağırlık merkezinin en dış life olan uzaklığını göstermektedir. Kiriş kesit atalet momenti:

$$I_g = \frac{bh^3}{12} \quad (15)$$

ile belirlenir.

2.4. Hibrit FRP-Çelik Donatılı Kiriş Deplasman Hesabı

Kirişin yük etkisi altında eğilmiş durumunun Sinüs eğrisine benzediği kabul edilse (Şekil 4) kirişin orta noktasında meydana gelen deplasman aşağıda yer alan formülasyon ile belirlenmektedir (Rangan, 1990).



Şekil 4. Kiriş eğilmiş hali

Sinüs eğrisi için deplasman ifadesi aşağıda sunulmuştur:

$$u(x) = \Delta \mathrm{Sin}\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad (16)$$

burada Δ kiriş orta noktası deplasmanını, L kirişin etkili boyunu göstermektedir. Denklem (16)'nın iki kez türevi alındığında eğrilik (ψ):

$$\psi = \frac{d^2u}{dx^2} = \frac{\pi^2}{L^2}\Delta \mathrm{Sin}(\frac{\pi x}{L}) \quad (17)$$

olarak elde edilir. Kirişte oluşan eğrilik birim deformasyon dağılımı kullanılarak (Şekil 3) Denklem (18) ile ifade edilebilir.

$$\psi = \frac{\varepsilon_c}{c} \quad (18)$$

Denklem (18)'de yer alan ε_c betonun basınç bölgesinde en dış lif için seçilen birim deformasyon değerini ifade etmektedir.

Denklem (17)'de x=L/2 kabul edilerek kiriş orta noktasında oluşan deplasman;

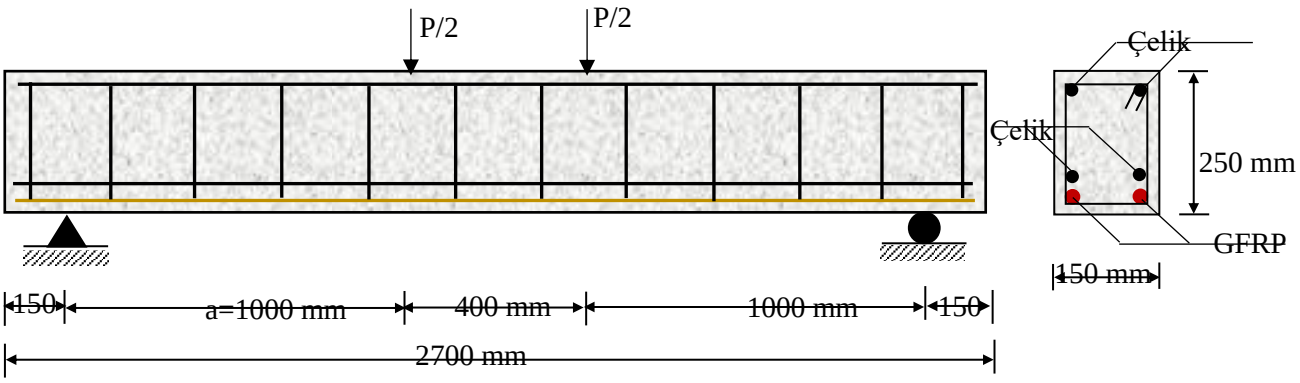
$$\Delta = \psi \frac{L^2}{\pi^2} \quad (19)$$

olarak belirlenir.

3. HİBRİT KİRİŞ ANALİZİ

3.1 Hibrit Kiriş Taşıma Gücü ve Yük-Deplasman Analizi

Nguyen ve diğ (2020) tarafından test edilen Hibrit donatılı kirişler taşıma gücü değeri ve yük deplasman eğrisinin elde edilmesi için analiz edilmiştir. Analizde beton için Hognestad gerilme-birim deformasyon modeli kabul edilmiştir.



Şekil 5. Kiriş dört nokta yüklemesi düzeni ve kesit özellikleri

Test edilen kirişlerin test koşulları ve kiriş donatı düzeni Şekil 5'de sunulmuştur. Kiriş numunelerin donatı özellikleri (örneğin 2G10-2S10 numunesi; iki adet 10 mm çaplı GFRP donatı ve iki adet 10 mm çaplı çelik donatı), beton basınç dayanımı (f_c) Tablo 1'de verilmiştir. Kesitte alt donatı (GFRP) için paspayı 25 mm, ikinci sıra donatı (çelik) ise kesit alt yüzünden 50 mm yukarıda alınmıştır, Numunelerde yer alan GFRP donatıların kopma dayanımı 970 MPa, elastisite modülü 44300 MPa ve donatı çeliği akma dayanımı 412 MPa, elastisite modülü 2×10^5 MPa olarak verilmiştir.

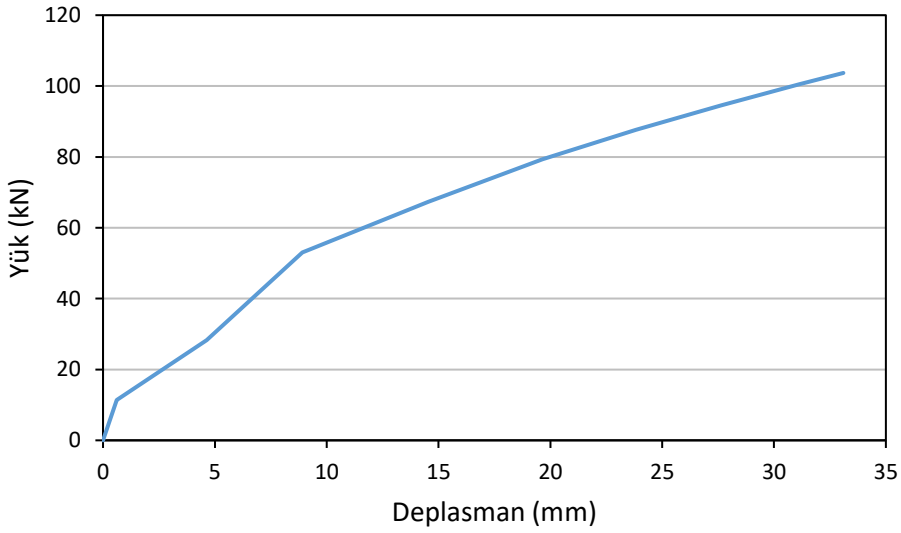
Hibrit kiriş deneysel çatlama yükü ($P_{cr,test}$) ve analiz sonucu elde edilen teorik çatlama yükü ($P_{cr,u}$) değerleri, deneysel ve teorik taşıma gücü kapasiteleri (P_{test} ve P_u) ile teorik ve deneysel taşıma gücü oransal değerleri Tablo 1'de, sunulmuştur.

Tablo 1. Kiriş ilk çatlak ve taşıma gücü kapasiteleri

Numune	f_c (MPa)	$P_{cr,test}$ (kN)	$P_{cr,u}$ (kN)	P_{test} (kN)	P_u (kN)	P_u/P_{test}
2G10-2S10	35.36	12.4	11.5	68.7	70.3	1.023
2G10-2S12	36.63	13.9	11.7	71.0	76.4	1.076
2G12-2S10	34.85	11.6	11.4	82.5	79.1	0.959
2G12-2S12	31.79	14.4	10.9	91.2	79.4	0.871
2G14-2S12	37.65	12.7	11.9	91.5	95.5	1.044
2G14-2S14	36.72	13.0	11.7	113.0	99.2	0.878
3G14-2S12	34.85	14.1	11.4	106.1	103.7	0.977
3G14-2S14	36.47	13.6	11.7	113.4	110.8	0.977
Ortalama						0.976

Yapılan analiz sonucunda teorik ve deneysel taşıma gücü oranı değerlerinin ortalaması 0.976 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre analiz edilen kirişlerin deneysel değerlerle uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Tablo 1 incelendiğinde, donatı miktarı artması ile birlikte kirişlerin taşıma gücü değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında, 3G14-2S12 kiriş numunesi dikkate alınarak yük-deplasman eğrisi için analiz edilmiş ve analiz sonucu elde edilen hibrit kiriş yük-deplasman eğrisi Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Hibrit kiriş yük-deplasman eğrisi

Hibrit kirişin yük-deplasman eğrisi incelendiğinde, eğri üzerinde başlangıçtan ilk çatlak değeri olan 11.4 kN yük değerine ulaşılana kadar rijitliğin yüksek olduğu, ilk çatlağın oluşumundan sonra rijitliğin bir miktar düştüğü ve yaklaşık 53 kN yük düzeyinden sonra çelik

donatının akmaya ulaşmasına bağlı olarak rijitlikte yeniden bir değişim meydana geldiği görülmektedir. Yapılan analiz sonucunda hibrit kirişin iyi derecede yük ve deplasman kapasitesi gösterdiği anlaşılmaktadır.

3.2 Hibrit Kiriş Davranışına Etki Eden Parametreler

Kesme açıklığı/etkili derinlik (a/d) oranı, beton basınç dayanımı ve farklı tip FRP donatıların hibrit kirişlerin taşıma gücü üzerine etkileri incelenmiştir.

(i) Kesme açıklığı/etkili derinlik (a/d) oranının etkisini incelemek üzere Şekil 5'de gösterilen dört nokta yüklemesi düzeneğinde kesme açıklığı (a) 750 mm ve 1100 mm alınarak 3G14-2S12 numunesi analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kesme açıklığının 750 mm ve 1100 mm alınması durumunda kiriş taşıma gücü sırasıyla 138.27 kN ve 94.28 kN olarak bulunmuştur. Bu durumda hibrit kirişte a/d oranı azaldıkça kiriş taşıma gücü kapasitesinin arttığı belirlenmiştir.

(ii) Yapılan analizlerde 3G14-2S12 numunesi tüm özelliklerinin sabit tutulup (Şekil 5) beton basınç dayanımının 45 MPa alınması durumunda kiriş taşıma kapasitesi 120.29 kN olarak elde edilmiştir. Tablo 1'de yer alan sonuçla karşılaştırıldığında, hibrit donatılı kirişin beton basınç dayanımının artması ile kiriş taşıma gücünün arttığı görülmektedir.

(iii) Analizde 3G14-2S12 numunesi için Şekil 5'de gösterilen deneysel özellikler ve beton basınç dayanımı sabit tutulup GFRP donatı yerine karbon FRP (CFRP) donatı kullanılması halinde hibrit kiriş taşıma kapasitesi incelenmiştir. Söz konusu analizde, çekme bölgesinde 3ϕ14 CFRP donatı ve ikinci sırada 2ϕ12 çelik donatı dikkate alınmıştır. CFRP donatı kopma dayanımı 1800 MPa ve elastisite modülü 160 GPa olarak esas alınmıştır. Yapılan analiz sonucunda kiriş taşıma kapasitesi P_u=148.7 kN olarak belirlenmiştir. Elde edilen yük değeri Tablo 1'de yer alan 103.7 kN değeri ile karşılaştırıldığında, CFRP donatı kullanılması halinde kiriş taşıma gücü kapasitesinde önemli düzeyde artış sağlandığı (%43.4) sonucuna varılmıştır.

4. SONUÇLAR

Sunulan çalışmada dört nokta yüklemesine maruz hibrit FRP-çelik donatılı kirişlerin eğilme altında davranışı ele alınmıştır. Hibrit donatılı kirişlerin yük-deplasman analizi üzerine bir yöntem sunulmuştur. Yöntemde betonun doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmaktadır. Literatürde yer alan hibrit kiriş çalışması dikkate alınarak hibrit kiriş analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre analiz sonuçlarının deneysel sonuçlar ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, hibrit FRP-çelik donatılı kirişlerin eğilme davranışına etki eden parametreler incelenmiştir. Yapılan analizlerde, kesme açıklığı/etkili derinlik oranının azalması ile kiriş yük taşıma kapasitesinin arttığı, beton basınç dayanımının artmasıyla kiriş kapasitesinde artış meydana geldiği belirlenmiştir. Hibrit kirişte bulundurulan donatı oranının artmasıyla kirişin taşıma gücünün arttığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan analizlerde, GFRP donatı yerine dayanımı ve elastisite modülü daha yüksek olan CFRP donatı

kullanılması durumunda hibrit FRP-çelik donatılı kiriş taşıma kapasitesinde önemli düzeyde artış sağlandığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Issa, M.S., Metwally, I.M., Elzeiny, S.M. "Influence of fibers on flexural behavior and ductility of concrete beams reinforced with GFRP rebars", Engineering Structures (2011), 33:1754-1763.
2. Barris, C., Torres, L., Comas, J., Mias, C. "Cracking and deflections in GFRP RC beams: An experimental study", Composites: Part B (2013), 55:580-590.
3. Abdelkarim, O.I., Ahmed, E.A., Mohamed, H.M., Benmokrane B. "Flexural strength and serviceability evaluation of concrete beams reinforced with deformed GFRP bars", Engineering Structures (2019), 186:282-296.
4. Jafarzadeh, H., Nematzadeh, M. "Evaluation of post-heating flexural behavior of steel fiber-reinforced high-strength concrete beams reinforced with FRP bars: Experimental and analytical results", Engineering Structures (2020), 225:111292.
5. Ifrahim, M.S., Sangi, A.J., Ahmad, S.H. "Experimental and numerical investigation of flexural behaviour of concrete beams reinforced with GFRP bars", Structures (2023), 56:104951.
6. Ruan, X., Lu, C., Xu, K., Xuan, G., Ni, M. "Flexural behavior and serviceability of concrete beams hybrid-reinforced with GFRP bars and steel bars", Composite Structures (2020), 235:111772.
7. Tarawneh, A., Alajarmeh, O., Alawadi, R., Amirah, H., Alramadeen, R. " Database evaluation and reliability calibration for flexural strength of hybrid FRP/steel-RC Beams" Composite Structures (2024) 329:117758.
8. ACI 440.1R-15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Rein- forced with Fibre-Reinforced Polymer (FRP) bars. ACI committee 440, American Concrete Institute, Farmington Hills, (2015).
9. Wei, B., He, X., Zhou, M., Wang, H., He, J. "Experimental study on flexural behaviors of FRP and steel bars hybrid reinforced concrete beams", Case Studies in Construction Materials (2024), 20:e02759.
10. El Refai, A., Abed, F., Al-Rahmani, A. "Structural performance and serviceability of concrete beams reinforced with hybrid (GFRP and steel) bars", Construction and Building Materials (2015), 96:518-529.
11. Hognestad, E., Hanson, N.W. and McHenry, D. (1955), "Concrete stress distribution in ultimate stress design", ACI Journal., **27**: 455-479.
12. Rangan, B.V. "Strength of reinforced concrete slender columns", ACI Structural Journal (1990), 87 (1): 32–38.

BATI KARADENİZ BÖLGESİ'NDE METEOROLOJİK KURAKLIK ANALİZİ: SYİ VE RUN TEORİSİ YAKLAŞIMI

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin BAYKAL
Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,
tahsinbaykal@kku.edu.tr - 0000-0001-6218-0826

Öğr. Gör. Dr. Ahmet İLKER
Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu
ahmetilker@karatekin.edu.tr - 0000-0002-6276-7309

ÖZET

Kuraklık, ekosistemler, tarım, su kaynakları ve ekonomi üzerindeki etkileri nedeniyle küresel ölçekte önemli bir sorundur. Bu bağlamda, Batı Karadeniz Bölgesi gibi yüksek yağış alan bölgelerde bile kuraklık olaylarının yaşanması, konunun daha detaylı incelenmesini gerektirmektedir. İklim değişikliği ile birlikte kuraklıkların süresi ve şiddetindeki artış, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için bölgesel analizlerin önemini artırmaktadır. Bu çalışmada, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak illerindeki kuraklıklar, Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) ve run teorisi kullanılarak analiz edilmiştir. 1981-2022 yıllarını kapsayan veriler ışığında kuraklıkların mekânsal ve zamansal değişimleri incelenmiş ve şiddet ile süreleri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Bulgular, bölgedeki kuraklık periyotlarının yıllar içerisinde farklılık gösterdiğini ve Kastamonu gibi illerde uzun ve şiddetli kuraklıkların yaşandığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki kuraklık dinamiklerini anlamaya yönelik önemli bilgiler sunarak, su yönetimi politikalarının geliştirilmesi ve iklim değişikliğine uyum stratejilerinin oluşturulması için temel bir referans kaynağı niteliği taşımaktadır**.**

Anahtar Kelimeler: Kuraklık Analizi, Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ), Run Teorisi, Batı Karadeniz Bölgesi

1. GİRİŞ

Kuraklık, başta insanlar olmak üzere tüm canlıların yaşamlarını sınırlandırarak, ekosistemi, su kaynaklarını, tarımı ve ekonomiyi olumsuz olarak etkileyen doğal bir olay olarak tanımlanmaktadır. Kuraklık, hayatımızın birçok alanını etkilemesi nedeniyle hidroloji, çevre, ziraat, hidrojeoloji, meteoroloji gibi alanlarda çalışan birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir[1, 2]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde kuraklığın genellikle dört sınıfa ayrıldığı görülmektedir. Bunlar; meteorolojik kuraklık, tarımsal kuraklık, hidrolojik kuraklık ve

sosyo-ekonomik kuraklıktır. Kuraklık sınıfları içerisinde öncelikle gerçekleşen meteorolojik kuraklık olup, meteorolojik kuraklığı sırasıyla tarımsal kuraklık ve hidrolojik kuraklık izlemektedir [3, 4]. Belirli bir bölgede, uzun bir zaman aralığında yağışın ortalama (normal) değerine göre düşük seviyede gerçekleşmesi meteorolojik kuraklık olarak tanımlanmaktadır [5].

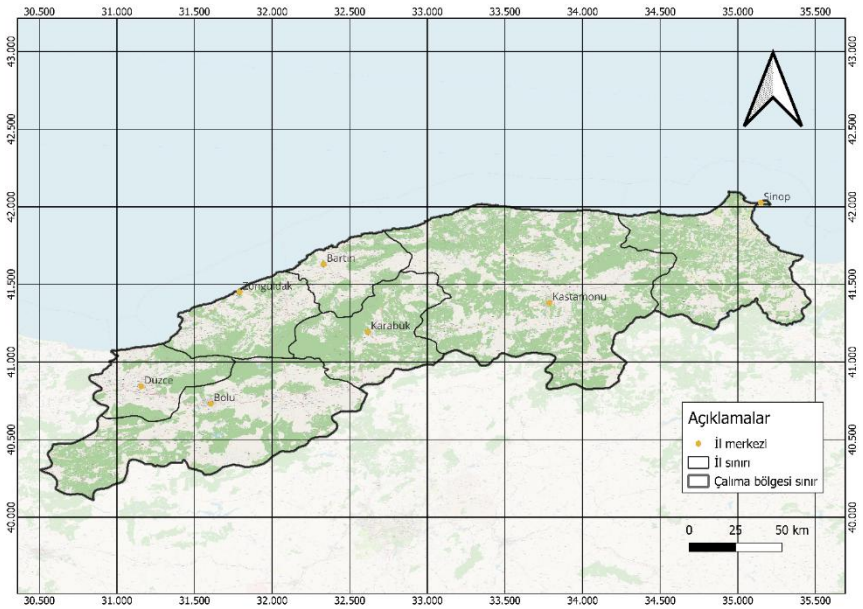
Kuraklığın yaşanmasında en etkili faktör yağış olmakla birlikte, enlem derecesi, yükseltiler, sıcaklık değerlerindeki artış, nem miktarındaki azalış gibi faktörler kuraklığın meydana gelmesinde etkilidir [6]. Kuraklığın tespit edilmesinde çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen birçok kuraklık indeksi kullanılmaktadır. Kuraklık indeksleri yöntemlerinde yukarıda verilen faktörler girdi değişkeni olarak kullanılarak kuraklık indeks değerleri hesaplanmaktadır. Kuraklık indeks yöntemlerinden biri olan, [7] tarafından geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ), girdi değişkeni olarak sadece yağış verisi kullanması, indis hesaplamasının kolay olması ve güvenilir sonuçlar vermesi nedeniyle meteorolojik kuraklığın tespit edilmesinde dünyada en çok kullanılan indislerden biridir [4, 8]. Ülkemizin farklı birçok bölgesi için SYİ kullanılarak kuraklık belirleme çalışmaları yapılmıştır. [9] Isparta'daki altı meteoroloji istasyonu için farklı aylık dönemler (1, 3, 6,9, 12, 24) için SYİ değerleri belirlemişlerdir. 24 aylık SYİ değerlerine göre en uzun kuraklık döneminin 77 ay ile Senirkent meteoroloji istasyonunda olduğunu tespit etmişlerdir. [10] Salda Gölü Havzası'nda bulunan Yeşilova istasyonu verileri ile 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık kuraklığı SYİ yöntemine göre belirleme çalışması yapmışlardır. Çalışma bölgesindeki en şiddetli ve en uzun dönem kuraklığın 1989-1995 yılları arasındaki dönemde saptadıklarını ifade etmişlerdir. [11] Çanakale meteoroloji istasyonun 1929-2007 yılları arasındaki 79 yıllık verisi ile SYİ yöntemini kullanarak kuraklık belirleme ve belirlenen değerler ile eğilim analizi çalışması yapmıştır. Çalışma bölgesinde en fazla normal kuraklık sınıfı indisinin tespit edildiğini ifade etmiştir. Ayrıca yıllık ve kış dönemi kuraklığında artış, ilkbahar döneminde ise azalış eğilimi olduğunu dile getirmiştir. [12] Bilecik'te 35 yıllık (1980-2014) yağış verisine SYİ yöntemi ile 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık dönemler için kuraklık tespiti yapmışlardır. Çok şiddetli kuraklığın en çok 12 aylık dönemde ve 1985 yılında saptamışlardır. Ayrıca kuraklığın 6 ve 12 aylık dönemlerde en çok sayıda olduğunu belirlemişlerdir. [13] Yukarı Gediz Havzası'nda bulunan 6 meteoroloji istasyonunun 1960-2017 yılları arasındaki yağış verilerini kullanarak SYİ yöntemi ile kuraklık analizi çalışması yapmışlardır. Yıllık kuraklık üzerinde özellikle kış mevsiminde tespit edilen kuraklığın etkili olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, çalışma dönemi içinde son yıllardaki kuraklıkların daha şiddetli ve sürelerinin daha uzun olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada Batı Karadeniz Bölümü'nde bulunan Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak illerine ait 1981-2022 yılları arasındaki 42 yıllık yağış verilerine SYİ yöntemi ile kuraklık analizi uygulanmıştır. Bununla birlikte, tüm istasyonlarda run teorisi ile kuraklık ve kuraklık şiddeti belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Bölgesi ve Veriler

Karadeniz Bölgesi'nin üç bölümünden biri olan Batı Karadeniz Bölümü, bölgenin en batısında konumlanmıştır. Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak illerinin bulunduğu bölümün sınırları Kızılırmak deltasının batısından başlayarak Adapazarı ve Bilecik illerinin doğusuna kadar uzanmaktadır. Karadeniz ikliminin hakim olduğu bölüm genel olarak dağlıktır. Bölümde bulunan dağlar kıyıya pararleldir ve hemen kıyadan uzanması sebebiyle bu kıyı kesim yüksek miktarda yağış alır. Batı Karadeniz Bölümü'nün bitki örütüsü çok yağış alması nedeniyle ormanlıktır. Bölüm ülkemizin en ormanlık alanıdır [14]. Çalışma bölgesinin haritası Görsel 1'de yer almaktadır. Çalışmada kullanılan, Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak illerine ait 1981-2022 yılları arasındaki yağış verileri Nasa Power sisteminden alınmıştır.



Görsel 1. Çalışma bölgesi

2.2. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ)

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) yönteminin kullanılması için sadece yağış verisine gereksinim vardır. Belirli bir dönem için yağış değerlerinin, ortalama yağış değerinden olan farkının standart sapmaya bölünmesi temeline dayanan SYİ ilk olarak [7] tarafından sunulmuştur. SYİ değerleri Eşitlik 1'de verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$SY\dot{I} = \frac{X_i - X_{ort}}{\sigma} \quad (1)$$

Eşitlikte Xi; aylık yağış değerini, Xort; uzun dönemdeki aylık yağış değerlerinin ortalamasını ve σ; yağış değerlerinin standart sapmasını ifade etmektedir [4]. SYİ yönteminde en az 30 yıllık yağış verisi kullanılır. Bu veriler standardize edilerek yağış serileri elde edilir. Yağış serilerindeki pozitif değerler yağış gerçekleşen dönemleri, negatifler ise yağışın olmadığı dönemleri ifade etmektedir. Yağışın gerçekleştiği ve gerçekleşmediği dönemler [7] tarafından belirli değerler aralığında sınıflandırılmıştır. Bu sınıflama; aşırı şiddetli kurak (-2 >), orta şiddetli kurak (-1.99 – -1.50), hafif şiddetli kurak (-1.49 – -1.00), normal (-0.99 – 0.99), orta

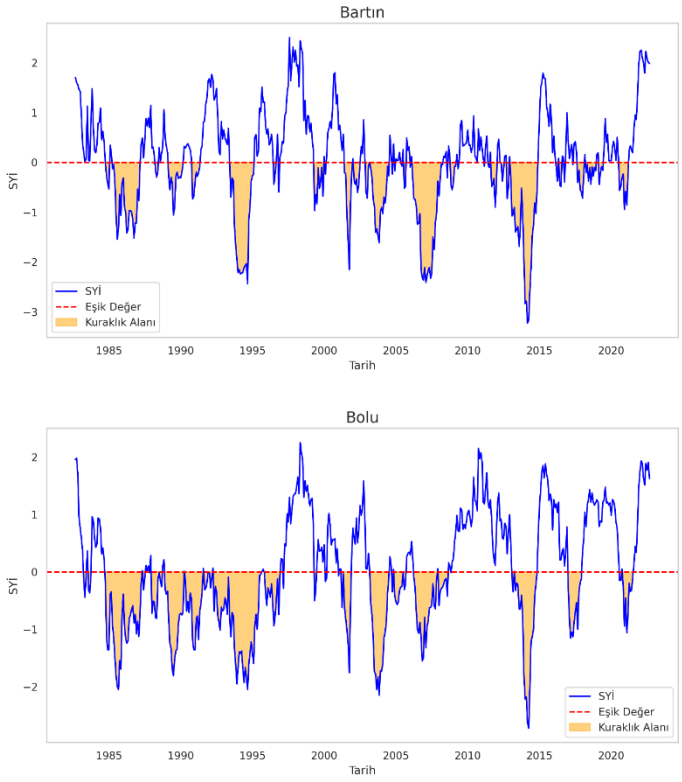
şiddetli yağış (1.00 – 1.49), şiddetli yağışlı (1.50 – 1,99) ve aşırı şiddetli yağış (2 <) şeklindedir [15].

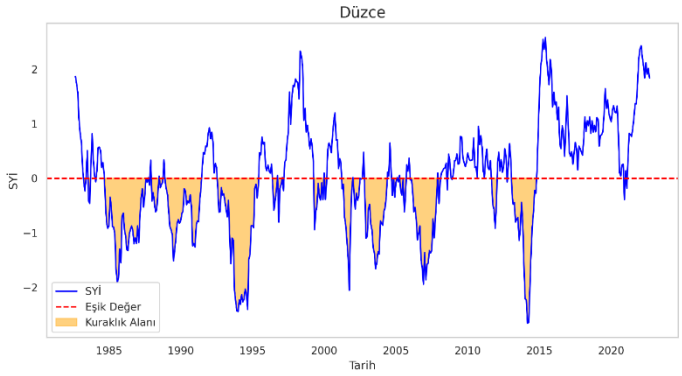
2.3. Run Teorisi

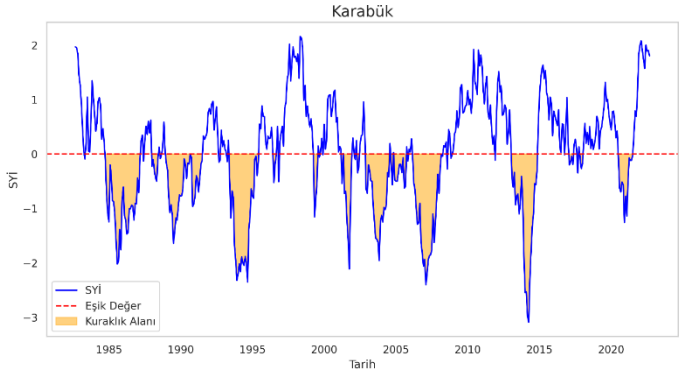
Run teorisi zaman serilerinin analizinin gerçekleştirilmesi için en uygun yöntemlerden birisidir. İlk olarak [16] tarafından sunulan Run teorisi kuraklık gibi olayların gerçekleşmesini tanımlar ve bu olayların devam etme süresini, şiddetini, yoğunluğunu vb. özelliklerini değerlendirerek karakterize edilmesini gerçekleştirir [17]. İstatistiksel bir yöntem olan Run teorisinde öncelikle eşik değerler belirlenir. Sonrasında SYİ gibi bir kuraklık indeksinin zaman serilerine uygulanarak kuraklık olayı tanımlanarak analiz edilir. Run teorisi yönteminde, belirli bir zaman aralığına ait indeks değerinin belirlenmiş eşik değerlerinin altına düşmesi o zaman aralığında kuraklık olayının gerçekleştiğini ifade etmektedir [18].

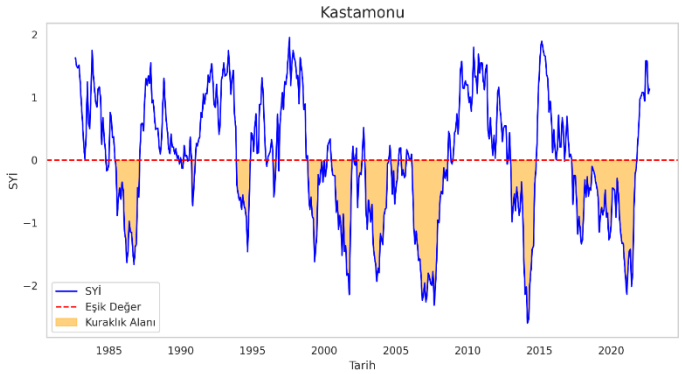
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

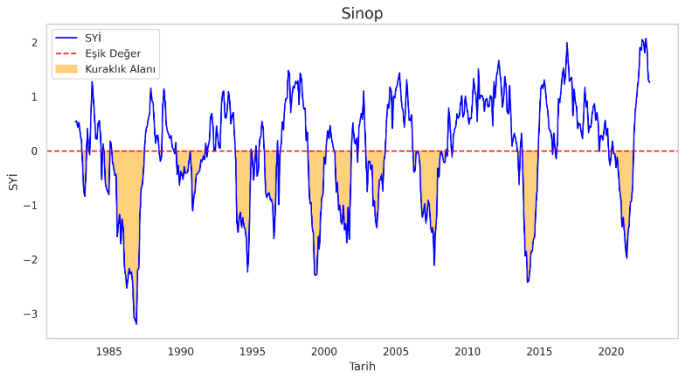
Bu çalışmada Batı Karadeniz'de bulunan Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak illerinin kuraklık şiddet ve sürelerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için ilk olarak 1981-2022 arasındaki yağış verileri ile 12 aylık Standart Yağış İndisi (SYİ) hesaplanmıştır. Daha sonra her bir istasyon için kuraklık ve şiddetleri run teorisi ile belirlenmiştir. Run teorisi ile kuraklık ve şiddet değerleri belirlenirken eşik değer sıfır (0) olarak alınmıştır. Görsel 2'de Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak istasyonları için hesaplanan 12 aylık SYİ değerlerine ait zaman serisi grafikleri verilmiştir.

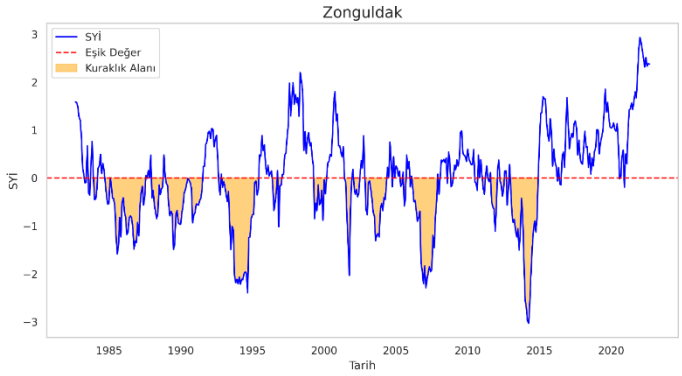



Düzce
SYİ
Eşik Değer
Kuraklık Alanı
Tarih


Karabük
SYİ
Eşik Değer
Kuraklık Alanı
Tarih

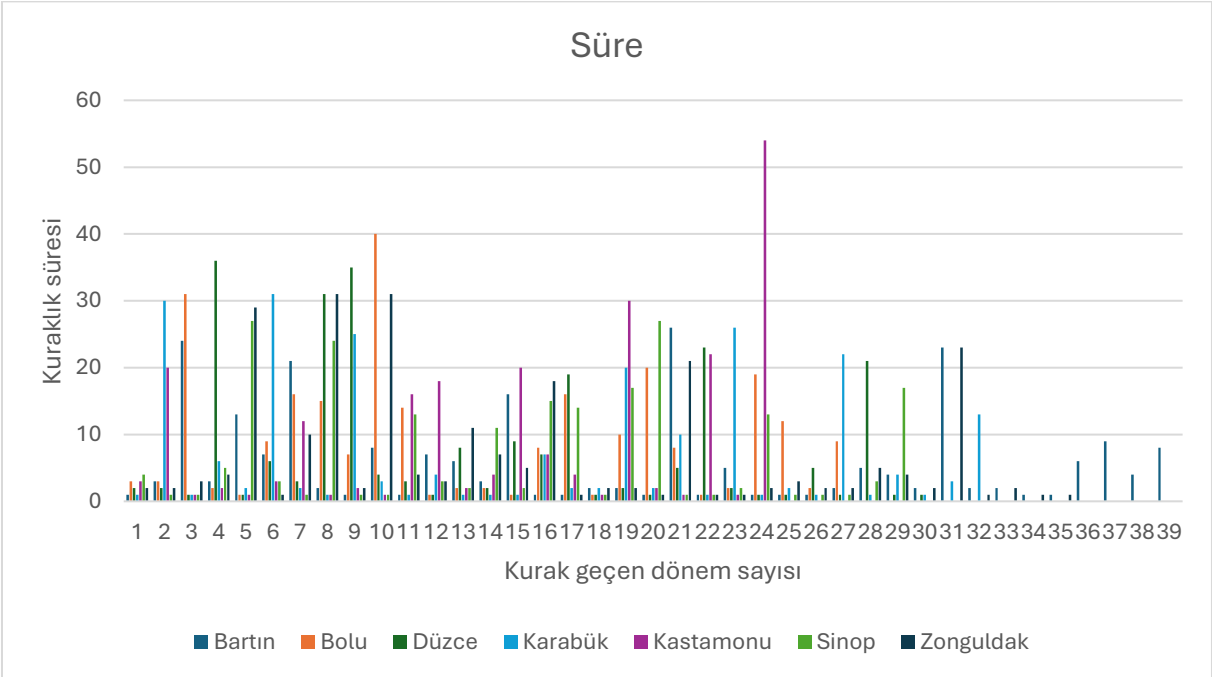

Kastamonu
SYİ
Eşik Değer
Kuraklık Alanı
Tarih


Sinop
SYİ
Eşik Değer
Kuraklık Alanı
Tarih



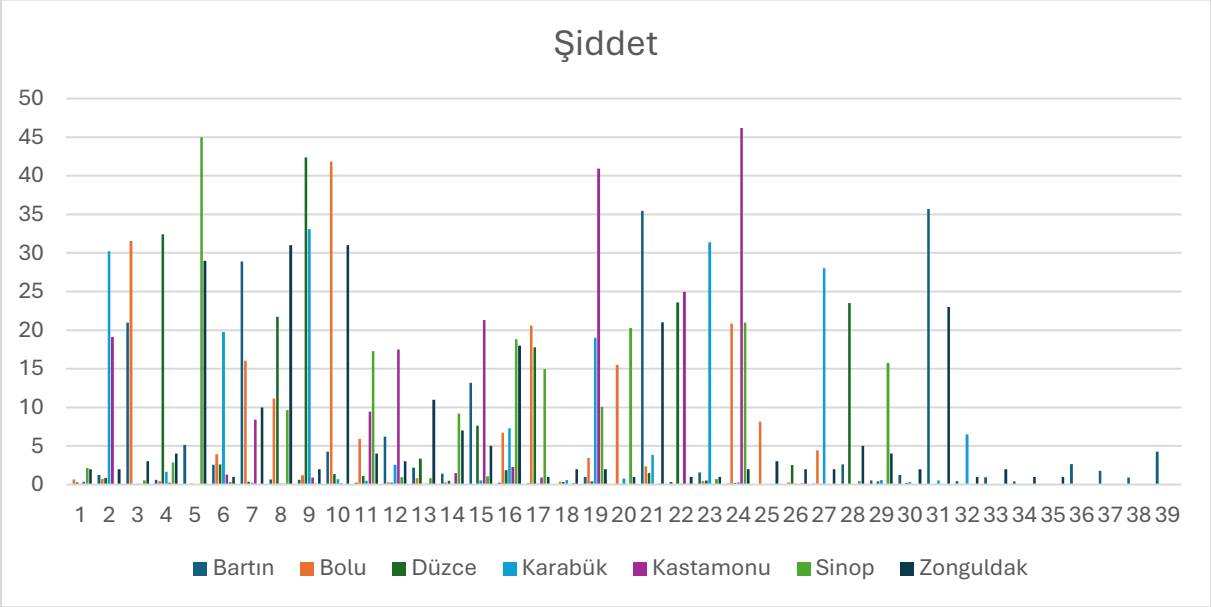
Görsel 2. 12 aylık SYİ değerlerine ait zaman serisi grafikleri

Görsel 2'de kırmızı kesikli çizgi, sıfır seviyesinde yer almakta ve kuraklık ile normal durum arasındaki eşiği temsil etmektedir. Bu seviyenin altındaki değerler, kuraklık dönemlerini göstermektedir. Turuncu ile gösterilen alanlar ise, indeksin sıfırın altına düştüğü kuraklık dönemleridir. Bu dönemler, kurak geçen zamanları göstermektedir. Bartın ilinde özellikle 1985, 1990 ve 1995 yıllarında kuraklıkların uzun sürdüğü görülmektedir. Bolu ve Düzce'de 1985-1995 yılları arasında uzun süreli kuraklıklar yaşanmıştır. Karabük ilinde özellikle 1985, 1995 ve 2000'li yılların başlarında uzun süreli kuraklıkların yaşandığı görülmektedir. Kastamonu'da 1980'lerin sonları, 1990'ların ve 2000'lerin ortaları gibi farklı periyotlarda uzun süreli kuraklıklar yaşanmıştır. Özellikle 2015-2020 yılları arası tamamen kurak geçmiştir. Sinop'ta Batı Karadeniz'de yer alan diğer illere kıyasla daha kısa süreli kuraklık yaşanmıştır. Zonguldak ilinde 1985-1995 yılları arasında uzun süreli kuraklık olayları yaşanmıştır. Bu illerin kurak geçen süreleri Görsel 3'te, kuraklık şiddetleri ise Görsel 4'te verilmiştir.



Görsel 3. Kuraklık süreleri

Görsel 3 incelendiğinde Bartın'da kuraklık süreleri genellikle kısa ve orta vadede yoğunlaşmıştır. Uzun süreli kuraklıklar ise nadiren görülmektedir. En uzun kurak geçen dönem Mart 2006-Nisan 2008 arasındaki 26 aylık dönemdir. Bolu'da kısa süreli kuraklıklar dikkat çekmekle birlikte, birkaç uzun vadeli kuraklık dönemi öne çıkmaktadır. Uzun süreli kuraklıklar diğer şehirlerle karşılaştırıldığında nispeten daha belirgindir. Bolu'da en uzun kuraklık Mayıs 1992-Ağustos 1995 aralığındaki 40 aydır. Düzce'de kuraklık süreleri kısa ve orta vadede sık görülmekte, ancak 36 ay (Ekim 1984-Eylül 1987) sürelerde kuraklıklar da dikkat çekmektedir. Karabük'te hem kısa hem de orta uzunluktaki kuraklık süreleri yaygındır. Uzun süreli kuraklıklar (Ocak 1989-Temmuz 1991 arasındaki 31 ay) nadir olmakla birlikte dikkat çekicidir. Kastamonu'da en uzun süren kuraklık 54 (Mayıs 2017-Ekim 2010) aydır. Sinop'ta en uzun kurak geçen dönem Nisan 1985-Haziran 1987 arasındaki 27 aydır. Zonguldak'ta orta ve kısa süreli kuraklıklar yaygındır, ancak uzun süreli kuraklıklar oldukça nadir gözlemlenmiştir. Burada en uzun kurak geçen dönem ise 31 (Ocak 1989-Temmuz 1991) aydır.



Görsel 4. Kuraklık şiddetleri

Görsel 4 incelendiğinde Bartın'da kuraklık şiddeti genellikle orta düzeyde yoğunlaşmıştır. Ancak Ocak 2013-Kasım 2014 arasında şiddetli kuraklıklar görülmektedir. Bolu, kuraklık şiddeti açısından belirgin bir dağılım sergilemektedir. Bu ilde en şiddetli kuraklık Mayıs 1992-Ağustos 1995 tarihleri arasındadır. Düzce'de kuraklık şiddeti genellikle düşük ve orta düzeydedir. Ancak Ağustos 1992-Haziran 1995 arasında şiddetli kuraklık yaşanmıştır. Karabük, oldukça yüksek kuraklık şiddetlerine sahip olaylarla öne çıkmaktadır. Karabük'te en şiddetli kuraklık (33.07) Haziran 1993-Haziran 1995 arasında yaşanmıştır. Kastamonu'da en şiddetli kuraklık (46.18) en uzun kuraklık yaşanan Mayıs 2017-Ekim 2021 arasında yaşanmıştır. Sinop'ta en şiddetli kuraklık Nisan 1985-Haziran 1987 arasında yaşanmıştır. Zonguldak'ta ise en şiddetli kuraklık Aralık 1992-Haziran 1995 arasındadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Batı Karadeniz bölgesinde yer alan Bartın, Bolu, Düzce, Karabük, Kastamonu, Sinop ve Zonguldak illerindeki kuraklıkların şiddet ve süreleri belirlenmiştir. Bunun için ilk olarak 1981-2022 yılları arasındaki yağış verileri kullanılarak, 12 aylık Standart Yağış İndisi (SYİ) hesaplanmıştır. Daha sonra run teorisi ile kuraklık şiddet ve süreleri belirlenmiştir.

Kuraklık süreleri incelendiğinde her bir ilde kuraklık periyotları farklılık göstermektedir. Bartın, Bolu, Düzce ve Karabük gibi illerde özellikle 1985-1995 yılları arasında uzun süreli kuraklıklar dikkat çekmektedir. Kastamonu'da ise 2015-2020 yılları arasında kuraklığın tamamen hâkim olduğu bir dönem gözlenmiştir. Sinop'ta diğer illere kıyasla daha kısa süreli kuraklıklar yaşanmış, ancak kısa süreli bu kuraklık olaylarının şiddetinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. En uzun süren kuraklık olayı 54 ay ile Kastamonu ilindedir. Bolu, Düzce ve Karabük'te de uzun süreli kuraklıklar tespit edilmiştir. Ancak bu illerdeki en uzun süreli kuraklıkların uzunluğu, Kastamonu ile kıyaslandığında daha düşüktür. Kuraklık şiddetleri incelendiğinde Kastamonu, 46.18 değeriyle en şiddetli kuraklık olayını yaşamış ve bu durum, aynı zamanda bölgedeki en uzun kuraklık periyoduyla eşleşmiştir. Karabük ve Sinop gibi illerde de oldukça şiddetli kuraklıklar gözlenmiştir.

Bu analizler, Batı Karadeniz bölgesinde kuraklık dinamiklerini daha iyi anlamamıza olanak sağlamış ve gelecekteki su yönetimi stratejileri için önemli veriler sunmuştur. Bölgenin tarım, su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliğine adaptasyon politikaları açısından kuraklık risklerini dikkate alarak planlama yapması kritik bir gereklilik olarak ön plana çıkmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Topçu, E. and F. Karaçor, Erzurum istasyonunun standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve bütünleşik kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık analizi, Politeknik Dergisi, 2021.
2. Castillo-Castillo, M., et al., Meteorological drought forecasting using discrete Kalman filter in the Fuerte river watershed, Mexico, Agrociencia. 52,7, 2018.
3. Anisfeld, S.C., *Water Resources*, Island Press, 2011.
4. Partal, T. and E. Yavuz, Orta Karadeniz ve Doğu Karadeniz Bölgesinde kuraklık indisleri üzerine trend analizi uygulanması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi. 11,2, 2020.
5. Taylan, D. and A.M. Bahşi, Gaziantep ili meteorolojik kuraklık analizi ve KAS ilişkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 25,2, 2021.
6. Şimşek, O., et al., SYİ Yöntemiyle Çoruh Havzası Uzun Dönem (1969-2020) Meteorolojik Kuraklığının Analizi, Politeknik Dergisi, 2023.
7. McKee, T.B., N.J. Doesken, and J. Kleist. *The relationship of drought frequency and duration to time scales*. in *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. 1993. Boston.

8. Dogan, S., A. Berktay, and V.P. Singh, Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey, Journal of Hydrology, 470, 2012.

9. Uçar, Y., E. Topçu, and E. Demirel, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemi ile Isparta İli Kuraklık Analizi, Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi, 1,1, 2019.

10. Evci, A. and C. Şahin, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemi Kullanılarak Salda Gölü Havzası Kuraklık Analizi Üzerine Bir Araştırma, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12,Ek (Suppl.) 1, 2021.

11. Ilgar, R., Çanakkale'de kuraklik durumu ve eğilimlerinin standartlaştirilmiş yağiş indisi ile belirlenmesi, Marmara Coğrafya Dergisi, 22, 2010.

12. Karaer, M. and H.T. Gültaş, Kuraklık Oluşumunun Bilecik İli'nde Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Yöntemi Kullanılarak Değerlendirilmesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 2018.

13. Kumanlioglu, A. and O. Fıstıkoğlu, Yukarı Gediz Havzası yağışlarının meteorolojik kuraklık analizleri, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 21,62, 2019.

14. https://www.sarubey.com/turkiye/bilgi/bati-karadeniz-bolumu-ve-illeri/

(Erişim tarihi: 15.05.2025]

15. Baykal, T., D. Taylan, and Ö. Terzi, Isparta İli için Gelecekteki Olası Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 9,1, 2023.

16. Yevjevich, V.M., *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*, Colorado State University Fort Collins, CO, USA, 1967.

17. Achite, M., et al., Understanding run theory for evaluating hydrologic drought in the Wadi Mina Basin (Algeria): A historical analysis, Theoretical and Applied Climatology, 2024.

18. Palagiri, H. and M. Pal, Agricultural drought risk assessment in Southern Plateau and Hills using multi threshold run theory, Results in Engineering, 22, 2024.

SİNYALİZE KAVŞAKLARDA FARKLI AĞIR ARAÇ ORANLARININ ÇEVRESEL ETKİLERE YANSIMASI: SİMÜLASYON TABANLI BİR DEĞERLENDİRME

Ceren YILDIRIM

Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,

cerenyildirim@cu.edu.tr, yildirim.ceren@ogr.deu.edu.tr - ORCID ID: 0009-0006-4223-1167

Doç. Dr. S. Pelin ÇALIŞKANELLİ

Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,

pelin.caliskanelli@deu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0530-3276

ÖZET

Bu çalışma, sinyalize kavşaklarda trafik akımı içerisinde farklı oranlarda yer alan ağır araçların çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında, İzmir ili Karabağlar ilçesinde yer alan Yeşillik Kavşağı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Yapılan analizlerde önce video kamera kayıtları incelenerek kavşaktaki mevcut trafik hacmi ve ağır araç oranları belirlenmiştir. Sonrasında mikroskobik trafik simülasyon programı olan SUMO (Simulation of Urban Mobility) kullanılarak kavşağın benzetim modeli oluşturulmuştur. Model üzerinde dört farklı senaryo oluşturulmuş ve bu koşullara bağılı olarak çevresel etki değerleri incelenmiştir. Oluşturulan senaryolar; yalnızca otomobillerden oluşan baz senaryo, mevcut durumu temsil eden %10 ağır araç oranı senaryosu, %20 ve %30 oranlarında ağır araç içeren senaryolar olarak sıralanabilir. Tüm senaryolarda sağa dönüş, düz geçiş ve sola dönüş hareketleri ayrı ayrı değerlendirilmiş ve bu manevraların CO_2, HC, NOx, PMx emisyonları ile yakıt tüketimi üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Bulgular, ağır araç oranı arttıkça tüm çevresel göstergelerde anlamlı artışlar yaşandığını göstermektedir. Özellikle sola dönüş manevralarında CO_2 ve NOx emisyonları ile yakıt tüketiminin en yüksek seviyelere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, sinyalize kavşak tasarımı ve trafik yönetimi süreçlerinde ağır araçların çevresel etkilerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Çalışma, ağır araç yönetimi konusunda çevre odaklı karar alma süreçlerine katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sinyalize kavşak, ağır araç oranı, çevresel etki, SUMO simülasyonu, emisyon analizi

ENVIRONMENTAL IMPACTS OF DIFFERENT HEAVY VEHICLE RATIOS AT SIGNALIZED INTERSECTION: A SIMULATION-BASED EVALUATION

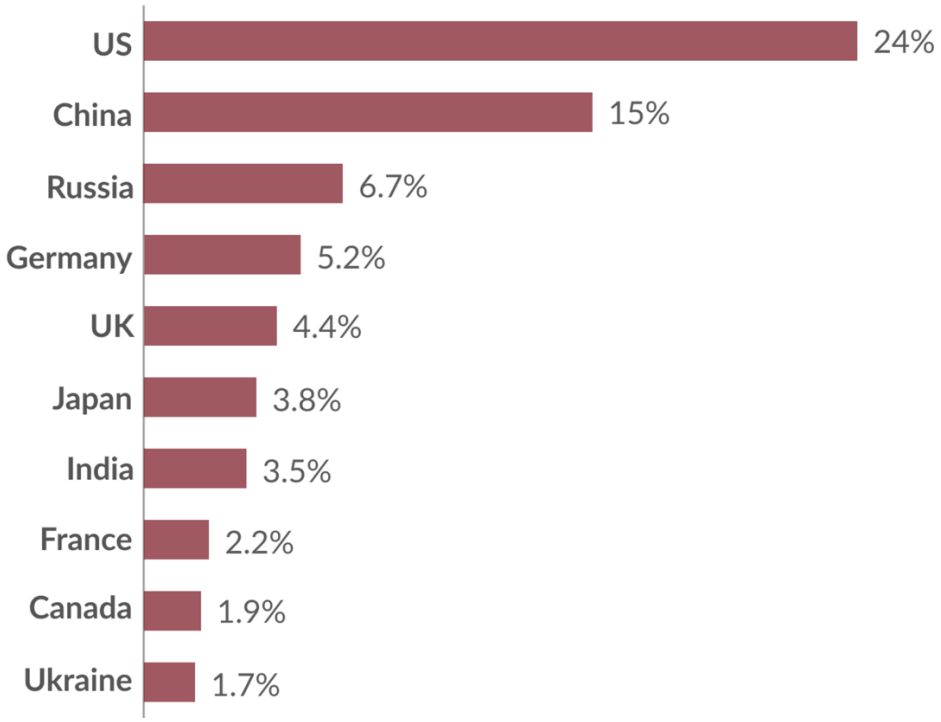
ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the environmental impacts of heavy vehicles at varying proportions within traffic flow at signalized intersections. The Yeşillik Intersection, located in the Karabağlar district of İzmir province, was selected as the study area. Initially, existing traffic volumes and heavy vehicle ratios at the intersection were determined through analyses of video camera recordings. Subsequently, a simulation model of the intersection was developed using the microscopic traffic simulation software SUMO (Simulation of Urban Mobility). Four distinct scenarios were created on this model, and environmental impact values were examined under these conditions. The scenarios include a baseline scenario with only passenger cars, a scenario representing the current situation with a 10% heavy vehicle ratio, and scenarios with heavy vehicle ratios of 20% and 30%. Right-turn, straight-through, and left-turn movements were evaluated separately across all scenarios, analyzing their effects on CO_2, HC, NOx, PMx emissions, and fuel consumption. Findings indicate that as the proportion of heavy vehicles increases, all environmental indicators significantly increase as well. Particularly for left-turn movements, CO_2 and NOx emissions, along with fuel consumption, reached their highest levels. These results underscore the importance of considering the environmental impacts of heavy vehicles in signalized intersection design and traffic management processes. The study aims to contribute to environmentally-focused decision-making processes regarding heavy vehicle management.

Keywords: Signalized intersection, heavy vehicle ratio, environmental impact, SUMO simulation, emission analysis

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan şehirlerde nüfus ve kentleşme oranına bağlı olarak araç sayıları hızla artmakta ve bunun yanı sıra kent çeperlerinde artan konut miktarına paralel olarak yol ağı da gün geçtikçe genişlemektedir. Genişleyen yol ağı üzerinde daha fazla yol kat eden ve sayısı hızla artan araçlar, oluşturdukları trafik problemlerinin yanı sıra şehirlerdeki çevresel problemlerin de önemli etkenlerinden birisidir. Bu bağlamda, farklı doğrultuda hareket etmek isteyen araçların ortak kulanım alanı olan kavşaklar, çevresel etkilerin yoğun olarak yaşandığı noktalar olarak öne çıkmaktadır. Kavşaklarda oluşan araç hareketleri (yavaşlama-hızlanma, duruş-kalkış, sağa-sola dönüş hareketleri) bu kesimlerde araçların daha düşük verimle çalışmasına ve araçlardan salınan emisyonların artmasına neden olmaktadır. [1, 2]. Bu durum, karbondioksit (CO_2), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NOx), partikül madde (PMx) ve yakıt tüketimi gibi göstergeler açısından tüm dünyada ciddi çevresel etkiler doğurmaktadır [3].



Görsel 1. Ülkelere göre 1750-2024 yılları arası kümülatif fosil yakıt ve sanayi emisyonları [4]

Karayolu taşımacılığı kaynaklı emisyonlar hem çevre hem de halk sağlığı açısından önemli tehditler oluşturmaktadır. Bu emisyonlar arasında karbon dioksit (CO_2) atmosferde birikerek sera gazı etkisi oluşturur ve küresel ısınmanın temel nedenlerinden biridir. Azot oksitler (NOx) fotokimyasal reaksiyonlarla ozon ve asit yağmurlarına neden olurken, hidrokarbonlar (HC) duman oluşumuna katkı sağlayarak özellikle kent merkezlerinde hava kirliliğini artırır. Partikül maddeler (PMx) ise solunabilir boyutta olduğunda akciğerlere kadar ulaşarak ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bu zararlı salımların çoğu doğrudan yakıt tüketimiyle bağlantılıdır. [5]

Ağır araçlar (kamyon, otobüs vb.) düşük hızlanma ve yavaşlama ivmeleri, yüksek ağırlıkları ve zayıf manevra kabiliyetleri sebebiyle daha yüksek çevresel etkiler yaratmaktadır. Günümüzde elektrikle çalışan ve hatta otonom hareket edebilen ağır araçlar mevcut olsa da gelişmekte olan şehirlerde çoğunlukla geleneksel olarak dizel yakıtla çalışmakta olan büyük motor hacimli ağır araçlar kullanılmaktadır. Teknik ve fiziksel özellikleri nedeniyle, ağır araçlar otomobillere göre araç başına çok daha fazla emisyon üretmektedir [6, 7]. Yapılan çalışmalarda, ağır araçların özellikle NOx ve PMx emisyonlarının temel kaynaklarından biri olduğu, kentsel hava kalitesi üzerinde ciddi etkiler yarattığı tespit edilmiştir [8].

Sinyalize kavşaklar, ağır araçların çevresel etkilerinin daha belirgin hale geldiği kritik alanlardır. Çalışma prensibi göz önüne alındığında belirli periyotlarda duruş-kalkış hareketi yapılan sinyalize kavşaklarda ağır araçların ürettiği emisyon miktarını arttırmaktadır [9]. Özellikle dönüş hareketleri sırasında yapılan geniş manevralar ve düşük hızlarla birlikte, egzoz salımı ve yakıt tüketimi daha da artmaktadır [10]. Emisyon artışı, aynı zamanda kavşak çevresindeki yayalar ve yerleşim alanları üzerinde doğrudan bir sağlık riski oluşturmaktadır [11].

Literatürde yapılan incelemelerde, çeşitli çalışmada ağır araçların kavşak performansı ve çevresel etkileri üzerinde durulduğu görülmüştür. Örneğin Zhang ve arkadaşları (2011), mikroskobik simülasyonla yaptıkları çalışmada, sinyalize kavşaklardaki ağır araç oranının CO_2 ve NOx salımını anlamlı ölçüde artırdığını göstermiştir [10]. Benzer şekilde, Yu ve Song (2020) ağır araçların yavaş hızlanma ivmeleri sebebiyle kavşağı daha uzun sürede terk ettiğini ve bu durumun kuyruk uzunluklarını ve kuyrukta bekleme sürelerini arttırdığı için emisyon yoğunluğunu da artırdığını vurgulamıştır [13]. Yapılan çalışmalar incelendiğinde analizlerde simülasyon modellerinin yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür.

Çalışmada, sinyalize kavşaklarda farklı oranlarda ağır araç bulunması durumunda çevresel etkilerde oluşan değişikler incelenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, İzmir ili, Karabağlar ilçesinde yer alan Yeşillik Sinyalize Kavşağı'nı çalışma alanı olarak seçilmiştir. Kavşakta yapılmış olan video kamera çekimleri incelenmiş ve. SUMO (Simulation of Urban Mobility) benzetim programı kullanılarak kavşak modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan model kullanılarak farklı ağır araç ve dönüş hareketine bağlı olarak senaryolar analiz edilmiştir. Böylece emisyon değerleri ve yakıt tüketimi verileri, gerçek bir kavşak modeli üzerinden analiz edilerek ağır araç oranlarındaki değişimin çevresel performansa etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. METODOLOJİ

2.1 Gözlem Bölgesinin Tanıtılması

İzmir ili Karabağlar ilçesinde yer alan bu kavşak, Yeşillik Caddesi ile 4012. Sokak kesişiminde bulunan sinyalize bir kavşaktır. Yeşillik caddesi üzerinde, caddenin batısında ve doğusunda bulunan çok sayıda sanayi ve ticaret kullanımlarına erişim sağlamaktadır. Görsel 2'de 2025 yılına ait güncel durumu gösteren uydu görüntüsü görseli verilmiştir.



Görsel 2. Yeşillik Kavşağı uydu görüntüsü (2025)

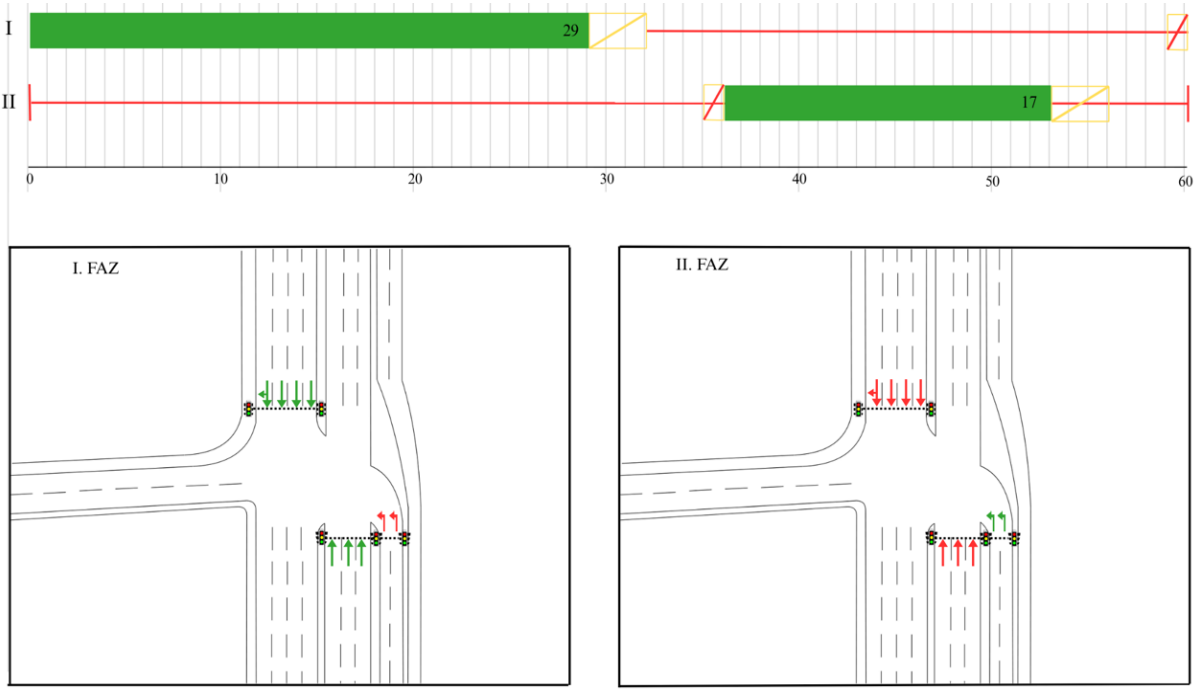
Yeşillik caddesi güney yönünde 4 şerit, kuzey yönünde ise 3 şerittir. 4 numaralı kol ise kavşağın batısındaki 2 şeritli ve güneybatı yönünde tek yön olan 4012. Sokak üzerinde bulunmaktadır. Kavşağın batısında yan yol bulunmamakta, doğusundaki 3 ve 5 numaralı kollar ise iki şeritten oluşan yan yolu temsil etmektedir.

Yeşillik kavşağı simülasyon ortamında oluşturulurken en yüksek hacim değerlerinin bulunduğu sabah zirve saati hacim verileri kullanılmıştır. Video kamera kayıtları incelenerek yapılan sayımlarda mevcut durumdaki ağır araç oranı %10 olarak belirlenmiştir. Sistemde bulunan kamyon ve otobüsler, karşılaştırılabilirlik bakımından eşit hacim değerleri ile simülasyona dahil edilmiştir. Mevcut durumu gösteren hacim değerleri tablosu aşağıda verilmiştir.

Çizelge 1. Yeşillik Kavşağı Sabah Zirve Saati Trafik Hacim Matrisi (UPİ, 2016)

	Yaklaşım Kolları		Otomobil (ta/sa)	Kamyon (ta/sa)	Otobüs (ta/sa)	Toplam Hacim (ta/sa)
%10 Ağır Araç	1	2	2198	122	122	2442
	1	4	396	22	22	440
	2	1	2255	126	126	2506
	3	2	380	21	21	422
	3	4	250	14	14	278
	3	5	493	28	28	548

Sinyal planı, devre süreleri 60 saniyeden oluşan iki faz olarak planlanmıştır. Kuzey Güney doğrultusunda yön değiştirmeden yoluna devam eden araçlar ve dönüş yapan araçlar için sıralı olarak bu iki faz planı kullanılmıştır. Faz planlarının detaylı diyagramları Görsel 3'te görülmektedir.



Görsel 3. Yeşillik Kavşağı Sinyal Faz Planı Diyagramları

2.2 Simülasyon Modelinin Oluşturulması

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, yapılan analizlerde saha ölçüm verileri ve gerçek zamanlı verilerin yanı sıra simülasyon modellerinin de yoğun olarak kullanıldığı görülmüştür. Arazide gözlemlenmesi oldukça uzun ve maliyetli olan birçok bilgiye daha rahat ulaşma imkânı tanıması sebebiyle simülasyon yönteminin bu çalışma kapsamında kullanılması uygun görülmüştür. Bu çalışmada, trafik akımının mikroskobik düzeyde modellenmesi ve farklı araç kompozisyonlarının kavşak performansı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi amacıyla açık kaynak kodlu bir simülasyon yazılımı olan SUMO (Simulation of Urban Mobility) kullanılmıştır. Bu program, sinyalize kavşaklar gibi trafik akımının yönetildiği karmaşık alanlarda analizler yapmak için kullanılabilir. SUMO, bireysel araç hareketlerini zaman ve mekân düzleminde detaylı bir şekilde modelleyebilmesi, esnek senaryo oluşturma imkânı sunması ve kullanıcıya parametrik düzenleme özgürlüğü sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir [14].

Seçilen kavşak için, öncelikle OpenStreetMap (OSM) verileri kullanılarak SUMO ortamında temel ağ yapısı oluşturulmuş daha sonra kavşağa ait mevcut video kamera kayıtları doğrultusunda detaylı biçimde simülasyon ortamına aktarılmıştır. İzmir Ulaşım Ana Planı'ndan [15] alınan saatlik araç sayımlarına bağlı trafik hacimleri, sinyal faz planları, hız limitleri ve araç kompozisyonları modele entegre edilerek kavşağın sahadaki koşulları mümkün olduğunca doğru biçimde temsil etmesi sağlanmıştır. Yeşillik Kavşağı için SUMO kentsel hareketlilik ortamındaki simülasyona ait görsel Görsel 4'te verilmiştir.



Görsel 4. Yeşillik Kavşağı SUMO Simülasyon Görüntüsü

Çizelge 2. SUMO programında kullanılan bazı parametreler

Parametreler	Otomobil	Kamyon	Otobüs
length (m)	5,00	8,00	12,00
width (m)	1,80	2,52	2,52
mass (kg)	1500	15000	10000
accel (m/sn2)	2,85	1,20	1,20
decel(m/sn2)	4,50	4,00	4,00
minGap (m)	2,00	3,50	3,50
sigma	0,40	0,20	0,20
tau	1,00	1,50	1,50
carFollowingModel	KraussPS	KraussPS	KraussPS
laneChangeModel	LC2013	LC2014	LC2015
lcPushy	0,35	0,10	0,10
emissionClass	HBEFA3/PC_G_EU4	HBEFA3/HDV_D_EU4	HBEFA3/Bus

2.2.1 GEH İstatistiği ile Simülasyon Sonuçlarının Kontrolü

Trafik simülasyonlarının güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla kullanılan önemli doğrulama yöntemlerinden biri GEH (Geoffrey E. Havers) istatistiğidir. GEH değeri, gözlemlenen ve modellenen trafik hacimleri arasındaki farkı hem mutlak hem de oransal olarak dikkate alarak değerlendirir. Bu istatistiksel ölçüt, farklı senaryolar altında model performansının gerçek dünyayı ne derecede temsil ettiğinin test edilmesinde etkili bir araç olarak kullanıldığı ve trafik hacmi karşılaştırmalarında sağlıklı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur [16]. GEH istatistiği şu formülle hesaplanmaktadır:

$$GEH_j = \sqrt{\frac{2\left(K_j - M_j\right)^2}{K_j + M_j}} \qquad (1)$$

Burada K, j yolu üzerindeki gözlemlenen hacim verisini, M ise aynı yol için modellenen hacim değerini ifade etmektedir. GEH değeri 5'in altında ise simülasyon ile gerçek veri arasında yüksek bir uyum olduğu kabul edilmektedir. 5 ile 10 arası orta düzeyde uyum, 10'un üzeri ise dikkate değer bir uyumsuzluk olarak değerlendirilir [17].

Çalışmada kullanılan mikrosimülasyon modellerinin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla, Yeşillik Kavşağı için GEH istatistiğine dayalı doğrulama analizi gerçekleştirilmiştir. Her kavşak kolu için gözlemlenen trafik hacimleri ile modellemede kullanılan hacim değerleri karşılaştırılarak GEH değerleri hesaplanmıştır. Yeşillik Kavşağı'nda GEH değerleri 6–9 aralığında olup kabul edilebilir düzeyde uyumu göstermektedir.

Çizelge 3. Yeşillik Kavşağı GEH değerleri

Kavşak Kolu	Gözlem Değeri	Simülasyon Değeri	Fark	GEH Değeri	
1	2648	3171	523	9,70	
2	2424	2756	332	6,52	
3	588	770	182	6,98	

Elde edilen sonuçlar, simülasyon modelinin genel anlamda sahadaki trafik koşullarını başarılı bir şekilde yansıttığını ve analizlerde güvenle kullanılabileceğini göstermektedir.

2.3 Senaryoların Oluşturulması

Bu çalışmada, sinyalize kavşaklarda ağır araç oranının çevresel etkilerini analiz edebilmek amacıyla değişen araç kompozisyonlarında dört farklı senaryo oluşturulmuştur. Senaryolarda, ağır araç oranları kademeli olarak artırılmıştır. Ayrıca, kavşaklardaki trafik davranışlarının emisyon ve yakıt tüketimi üzerindeki farklı etkilerini ortaya koymak amacıyla, her senaryo kapsamında sağa dönüş, düz geçiş ve sola dönüş manevraları ayrı ayrı değerlendirilmiş ve kavşak içi hareket türlerinin çevresel sonuçları daha ayrıntılı biçimde analiz edilmeye çalışılmıştır.

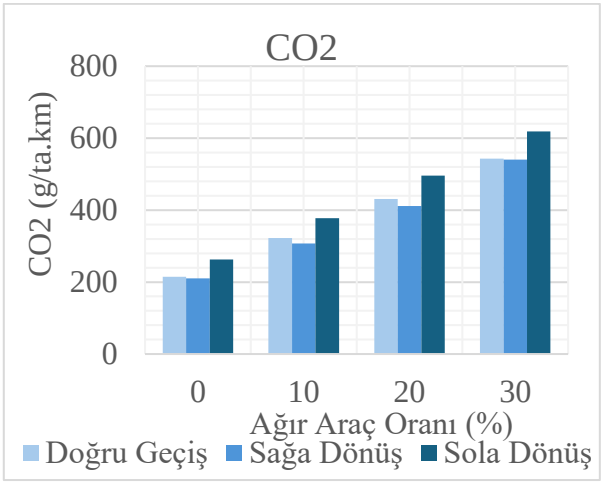
- Senaryo 1 – %0 Ağır Araç: Bu senaryoda tüm araçlar otomobil olarak tanımlanmıştır. Diğer senaryolardaki sonuçlarla karşılaştırma yapabilmek adına yalnızca otomobillerin çevresel etkisi dikkate alınarak baz durum belirlenmiştir.
- Senaryo 2 – %10 Ağır Araç (Mevcut Durum): Sahada ölçüm yoluyla elde edilen trafik verilerine dayalı olarak mevcut koşulları yansıtan senaryodur. Yapılan trafik sayımları sonucunda ağır araç oranı %10 olarak belirlenmiştir.
- Senaryo 3 – %20 Ağır Araç: Ağır araç oranının %20'ye çıkarıldığı bu senaryo, orta düzey ağır araç varlığını temsil etmektedir.

- Senaryo 4 – %30 Ağır Araç: En yüksek ağır araç oranını içeren bu senaryoda, kavşaklardaki trafik akımının üçte bire yakın kısmını ağır araçlar oluşturmaktadır. Bu durumda oluşabilecek emisyon ve yakıt tüketimi üzerindeki etkiler değerlendirilmeye çalışılmıştır.

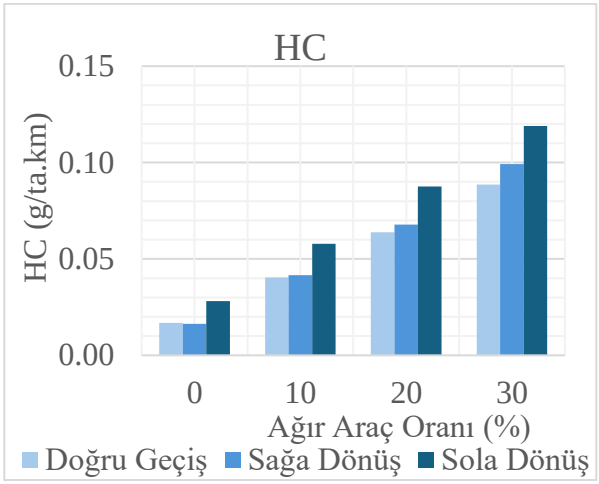
Senaryolar aracılığıyla, trafikteki ağır araç oranının kademeli olarak artırılmasıyla birlikte çevresel etkilerin nasıl değiştiği sistematik bir yaklaşımla ele alınmıştır. Ayrıca kavşak içindeki araç hareketlerinin farklı karakteristikler sergilediği göz önünde bulundurularak, sağa dönüş, düz geçiş ve sola dönüş manevraları ayrı ayrı analiz edilmiştir. Böylece hem araç türü dağılımının hem de hareket yönünün emisyon ve yakıt tüketimi üzerindeki etkileri ayrıntılı biçimde incelenmesi hedeflenmektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

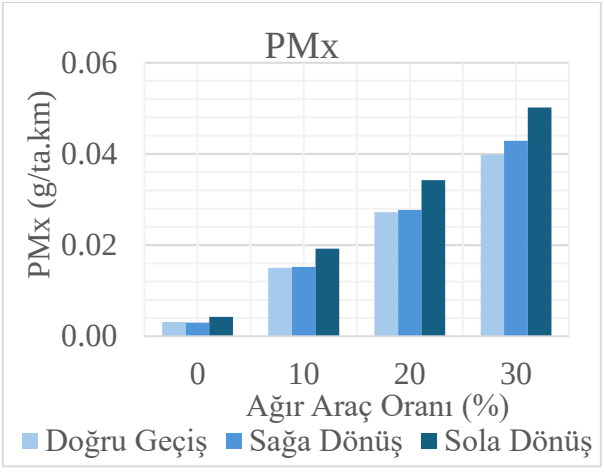
Simülasyon ortamında senaryoların çalıştırılmasının ardından farklı ağır araç oranlarına ve kavşak içi manevralara göre elde edilen çevresel çıktı verileri analiz edilmiştir. Bu kapsamda, araç başına emisyon miktarları ve yakıt tüketimi değerleri toplam ve ortalama bazda elde edilmiş; araçların sağa dönüş, düz geçiş ve sola dönüş hareketleri ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen bulgular ve ilgili grafiksel değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.



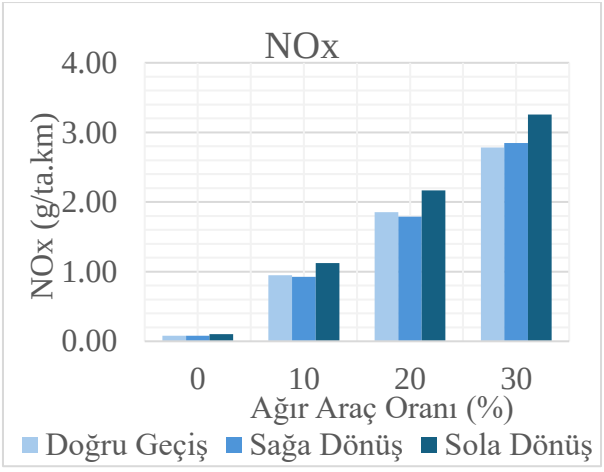
(a)



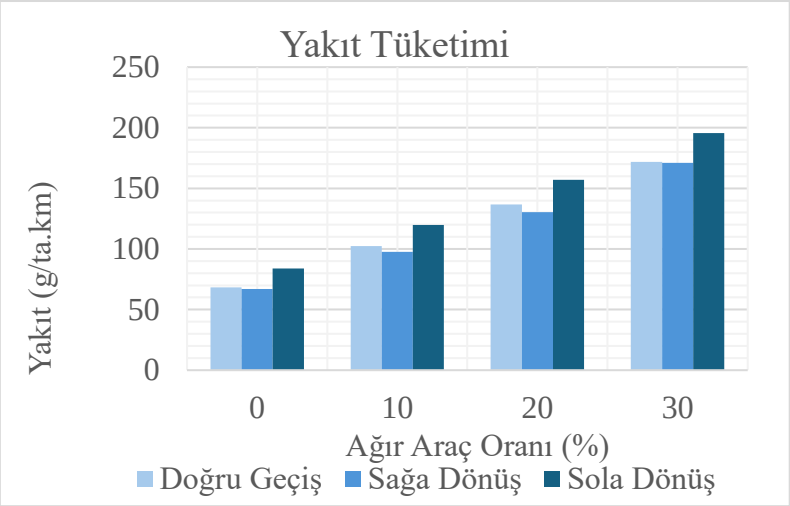
(b)



(c)



(d)



(e)

Görsel 5. Manevra Türüne ve Ağır Araç Oranına Bağlı Olarak Ortalama Emisyon ve Yakıt Tüketimi Değerleri

Ağır araç oranının artmasıyla birlikte tüm manevra türlerinde CO_2 emisyonlarında **2.5 kata** varan artışlar gözlemlenmiştir. Bu eğilim, ağır araçların dizel yakıtla çalışması ve motor yüklerinin yüksek olması nedeniyle karbon bazlı emisyonları daha fazla üretmelerine bağlanabilir. Özellikle %30 ağır araç senaryosunda tüm hareket türlerinde CO_2 seviyeleri en yüksek düzeye ulaşmıştır. Manevra türleri karşılaştırıldığında, sola dönüşler her senaryoda en fazla CO_2 salımıyla öne çıkmaktadır. Bu durum, sola dönüşlerdeki bekleme süreleri, daha uzun manevra süreleri ve düşük hız koşullarının motor yükünü artırmasıyla ilişkilidir. Doğru geçiş ve sağa dönüş manevraları arasında ise bazı senaryolarda değişen farklar gözlemlenmiş, %0 ve %30 senaryolarında bu iki manevra türü arasında belirgin bir fark ortaya çıkmazken; %10 ve %20 oranlarında doğru geçişler sağa dönüşlerden daha yüksek değerler üretmiştir. Bu fark, sağa dönüşteki manevranın kısa sürede tamamlanması ve daha düşük motor gücü kullanımıyla açıklanabilir.

HC emisyonları, ağır araç oranının artmasıyla birlikte her üç manevrada da düzenli şekilde artış göstermiştir. %0 oranında oldukça düşük seviyede olan HC, %30 oranında yaklaşık **5 kata yakın** artış göstermiştir. Manevralar karşılaştırıldığında, sola dönüş hareketi yine en yüksek HC emisyonuna sahip olup, onu düz geçiş ve sağa dönüş takip etmektedir. Özellikle %20 ve %30 ağır araç oranlarında bu fark daha belirgin hale gelmektedir. Sola dönüşlerdeki düşük hız ve bekleme kaynaklı verimsiz motor çalışması bu emisyon türünde de etkisini göstermektedir.

Partikül madde (PMx) emisyonları ağır araç oranı ile doğrudan ilişkili biçimde artmıştır. PM emisyonları özellikle dizel motorlu araçlarda belirgin olup, motor yükü, düşük hız ve sık frenleme gibi koşullarda daha fazla partikül oluşmaktadır. %0 oranında neredeyse yok denecek kadar azken, %30 oranında **14 kat** gibi ciddi artış sergilemiştir. Manevra türleri arasında sola dönüş tüm senaryolarda en fazla partikül madde emisyonu üretmiştir. Bu manevrayı düz geçiş ve sağa dönüş takip etmiştir. Özellikle %10 ve üzerindeki senaryolarda sola dönüşteki emisyon miktarındaki artış çok daha belirgin hale gelmiştir. Bu sonuç, düşük hız ve sık dur-kalk içeren dönüş manevralarının PMx üretimini artırdığını göstermektedir.

Ağır araç oranı arttıkça NOx emisyonlarının tüm manevra türlerinde keskin bir artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bu durum, dizel motorların daha fazla azot oksit üretmeleriyle doğrudan ilişkilidir. %0 ağır araç oranında tüm manevra türleri benzer düzeyde düşük NOx emisyonu üretirken, %30 oranında değerler yaklaşık **20–35 katına** çıkmaktadır. Manevralar arasında en yüksek NOx emisyonu her senaryoda sola dönüş hareketlerinde görülmektedir. Dönüş sırasında uzun bekleme süreleri ve fazla sayıda frenleme davranışı motor yükünü artırarak NOx salımının artışına sebebiyet vermektedir. Sağa dönüş ve düz geçiş değerleri ise çoğunlukla birbirine yakın şekilde gözlemlenmiştir.

Yakıt tüketimi, ağır araç oranı yükseldikçe her manevrada anlamlı biçimde artmıştır. Bu artış, ağır araçların sahip olduğu yüksek yük taşıma kapasitesi ve motor gücüne paralel olarak daha fazla yakıt tüketmeleriyle açıklanabilir. %0 oranındaki düzeylerde yakıt tüketimi düşükken, %30 oranında neredeyse **3 katına** ulaşmıştır. Manevralar açısından en yüksek ortalama yakıt tüketimi yine sola dönüş hareketine aittir. Bu hareket türünde aracın daha uzun süre çalışır halde beklemesi, hızlanma süresinin uzaması gibi faktörler tüketimi artırmaktadır. Sağa dönüş kavşakta geçirilen sürenin kısa olmasına bağlı olarak en düşük tüketim değerindeyken, düz geçiş genellikle orta seviyede yakıt tüketimi göstermektedir.

Gerçekleştirilen simülasyon analizleri, ağır araç oranındaki artışın tüm manevra türlerinde çevresel etkileri belirgin şekilde artırdığını ortaya koymuştur. Özellikle CO_2, NOx, PMx ve yakıt tüketimi gibi parametrelerde ciddi yükselişler gözlemlenmiş; sola dönüş manevraları her senaryoda en yüksek emisyon ve tüketim değerlerine ulaşmıştır. Bu bulgular, kavşak tasarımı ve trafik yönetimi süreçlerinde ağır araç varlığının dikkate alınmasının çevresel sürdürülebilirlik açısından kritik önem taşıdığını göstermektedir.

KAYNAKÇA

1. Barth, M., & Boriboonsomsin, K. (2009). Real-world carbon dioxide impacts of traffic congestion. *Transportation Research Record*, 2058(1), 163-171.

2. Gokhale, S., & Khare, M. (2007). A review of deterministic, stochastic and hybrid vehicular emission models. *International Journal of Transport Management*, 5(4), 157-167.

3. Frey, H. C., Rouphail, N. M., Zhai, H., & Farias, T. L. (2007). Comparison of real-world versus cycle average vehicle emissions. *Transportation Research Part D*, 12(5), 312–329.

4. https://globalcarbonatlas.org/budgets/carbon-budget/ (Erişim tarihi: 12.06.2025)

5. Uyumaz, A., Boz, F., Yılmaz, E., Solmaz, H., & Polat, S. (2017). Taşıt egzoz emisyonlarını azaltma yöntemlerindeki gelişmeler. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(Özel (Special) 1), 15-24.

6. Scora, G., & Barth, M. (2006). Comprehensive Modal Emissions Model (CMEM), Version 3.01. *University of California, Riverside*.

7. Fontaras, G., Zacharof, N., & Ciuffo, B. (2017). Fuel consumption and CO_2 emissions from passenger cars in Europe—Laboratory versus real-world emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 60, 97–131.

8. Wang, H., et al. (2011). Characterization of vehicle emissions and air quality in Beijing: A review. *Atmospheric Environment*, 45(39), 7235–7245.

9. Zhang, K., Batterman, S., & Dion, F. (2011). Vehicle emissions in congestion: Comparison of work zone, rush hour and free-flow conditions. *Atmospheric Environment*, 45(11), 1929–1939.

10. Rakha, H., & Ding, Y. (2003). Impact of stops on vehicle fuel consumption and emissions. *Transportation Research Board Annual Meeting*.

11. HEI Panel on the Health Effects of Traffic-Related Air Pollution. (2010). Traffic-related air pollution: A critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects. *Health Effects Institute*.

12. Zhang, L., Chen, X., & Li, Y. (2011). Effects of vehicle type on emissions and fuel consumption at urban signalized intersections. *Procedia Engineering*, 21, 598–605.

13. Yu, L., & Song, G. (2020). Study on Emission Characteristics of Heavy-Duty Vehicles at Signalized Intersections Based on VISSIM-COPERT Model. *Sustainability*, 12(3), 1180.

14. Lopez, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y. P., Hilbrich, R., ... & Wießner, E. (2018, November). Microscopic traffic simulation using sumo. In 2018 21st international conference on intelligent transportation systems (ITSC) (pp. 2575-2582). Ieee.

15. İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir Ulaşım Ana Planı (UPİ), İzmir Büyükşehir Belediyesi Ulaşım Dairesi Başkanlığı, İzmir, 2016.

16. Ai, W., Leong, L. V., Shafie, S. A. M., Al-Jameel, H. A., & Goh, W. C. (2025). Assessment of route choice models for dynamic traffic assignment using microscopic simulation. Engineering, Technology & Applied Science Research, 15(1). https://doi.org/10.48084/etasr

17. Azevedo, C. L., Santos, R., Seco, Á., & Costa, Á. A. (2017). A multivariate analysis approach for multi-scenario traffic modeling calibration. Expert Systems with Applications, 79, 222–236. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.031

ORTALAMA KAYMA DALGASI HIZININ BELİRLENMESİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDEKİ ROLÜ

İnşaat Yüksek Mühendisi Tarık TUFAN
Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD
tufantarik@hotmail.com – 0000-0001-7461-5911

Doç. Dr. Erdinç KESKİN
Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
erdinckeskin@klu.edu.tr - 0000-0002-8728-2906

ÖZET

Ortalama kayma dalgası hızı (Vs30), geoteknik ve deprem mühendisliği disiplinlerinde oldukça önemli bir parametre olarak öne çıkmaktadır. Zeminlerin dinamik davranışının karakterize edilmesi, dinamik yükler altındaki yapıların performansının incelenmesi, yapı-zemin etkileşimi ve sıvılaşma gibi kritik geoteknik problemlerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve tasarımında üstlendiği kilit rol nedeniyle, bu parametrenin doğru olarak belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Ortalama kayma dalgasının belirlenmesinde sismik kuyu içi yöntemler ve sismik koni penetrasyon testi gibi doğrudan ölçüm teknikleri, mikrotremör ve yüzey dalgalarının spektral analizi gibi yüzey dalgası temelli dolaylı yöntemler ile standart penetrasyon testi, konik penetrasyon testi ve topoğrafik eğim verilerine dayanan ampirik yaklaşımlar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, bahsi geçen bu yöntemler kısaca tanımlanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, ortalama kayma dalgası hızının zeminlerin temel mühendislik özellikleri ve dinamik davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bunun yanı sıra, Ortalama kayma dalgası hızının zemin sınıflandırılması, sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki büyütme etkilerinin modellenmesi, deprem tehlike haritalarının oluşturulması ve yapı-zemin etkileşimi analizlerindeki kritik rolü tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Ortalama kayma dalgası hızı, zemin sınıflandırılması, sıvılaşma, yapı zemin etkileşimi.

1. GİRİŞ

Depremlerin yapı davranışları üzerindeki etkilerini doğru bir şekilde değerlendirebilmek ve depreme dayanıklı yapı tasarımı gerçekleştirebilmek için yerel zemin özelliklerinin ayrıntılı olarak analiz edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde temel parametrelerden biri olan kayma dalgası hızı (Vs) öne çıkmaktadır. Özellikle yüzeyden itibaren ilk 30 metrelik derinlikteki ortalama kayma dalgası hızı (Vs30), zemin sınıflandırmalarında ve mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan önemli bir parametredir.

Vs30, yüzeyden itibaren 30 metre derinliğe kadar uzanan zemin veya kaya birimlerinin kayma dalgalarının seyahat süresine göre ağırlıklandırılmış ortalama hızını ifade etmektedir. Bu hız, zemin özelliklerine ve sıkılığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir; kayalık ve sıkı zeminlerde daha yüksek, gevşek ve yumuşak zeminlerde ise daha düşük değerler gözlenmektedir.

Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Deprem Tehlikesi Azaltma Programı (NEHRP), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) gibi birçok ulusal ve uluslararası deprem yönetmeliğinde, Vs30 değeri, zemin sınıflarının belirlenmesinde temel bir parametre olarak kabul edilmektedir. Bu sınıflandırmalar, farklı zemin türlerinin belirli bir büyüklükteki depreme benzer tepkiler vereceği varsayımıyla sismik tasarım parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, Vs30 değeri; sismik tehlike analizleri mevcut yapıların sismik performans değerlendirmeleri ve sismik istasyon alanlarının zemin karakterizasyonu gibi çeşitli mühendislik ve risk yönetimi uygulamalarında da yaygın biçimde kullanılmaktadır [1-3].

Ayrıca, sismik tehlike analizlerinde yer ivmelerinin hesaplanmasında da Vs30 değeri dikkate alınmakta, bu sayede yer hareketinin şiddeti ve süresi daha gerçekçi bir biçimde öngörülebilmektedir. Yapı mühendisliği açısından bakıldığında ise, deprem yükleri altında yapı davranışının modellenmesinde Vs30, doğrudan tasarım girdilerinden biri olarak yer alır. Özellikle zemin-yapı etkileşiminin analizinde bu parametre, güvenli ve ekonomik tasarımların oluşturulmasına olanak sağlar. Bunun yanı sıra, sıvılaşma riski analizi gibi zemin güvenliğini ilgilendiren değerlendirmelerde de Vs30 önemli bir belirleyici olup, zeminlerin deprem sırasında taşıma gücünü kaybetme potansiyelinin tahmin edilmesinde kullanılır. Ayrıca zeminin dinamik karakteristiklerinin ortaya konulmasında kayma dalgası hızının önemi büyüktür. Hem yapı tasarımında hem de kentsel planlama süreçlerinde güvenliğin sağlanması, bu değerin doğru analiz edilmesine bağlıdır. Ancak birçok güncel yönetmelik, yalnızca Vs30 kullanılarak yapılan zemin sınıflandırmasının yetersiz kaldığını belirtmiş ve bu nedenle zemin frekansı gibi ilave parametrelerin değerlendirilmesini önermiştir. Özellikle Japon deprem yönetmeliğinde, zemin sınıfının belirlenmesinde Vs30'un yanı sıra zemin hakim periyodu da kullanılmakta, bu da zemin davranışını daha doğru temsil etmektedir. Türkiye'de ise bu yaklaşım, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile desteklenmiş ve zemin karakterizasyonunda sadece Vs30'un değil, aynı zamanda zemin frekanslarının da dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır [4-6].

2. VS30 ÖLÇÜM VE TAHMİN YÖNTEMLERİ

Bu değer, zeminin dinamik davranışını belirlemede temel bir girdi sağlamakta olup, ölçüm veya tahmin yöntemleri proje ölçeği, saha koşulları ve ekonomik faktörlere göre değişkenlik göstermektedir. Bu nedenle bu parametrenin doğru olarak tespit edilebilmesi amacıyla doğrudan, dolaylı ve ampirik yöntemlere başvurulmaktadır.

Doğrudan yöntemler, genellikle sondaj kuyuları kullanılarak gerçekleştirilen sismik ölçümlere dayanır. Downhole, crosshole, suspension PS loglama, SCPT ve SDMT gibi teknikler, kayma dalgası hızını doğrudan ölçerler. Bu yöntemler sayesinde Vs30 doğrudan tespit edilebir nitelikte olup, zemin hacminin sınırlı bir bölümünü temsil etmeleri nedeniyle belirsizlik payı %1–3 arasında olmaktadır [7-9].

Öte yandan, dolaylı yüzey dalgası analizi yöntemleri, zemin hacimlerini örnekleyerek daha ekonomik ve temsili sonuçlar sağlar. SASW, MASW ve mikrotremör temelli teknikler en yaygın yaklaşımlardır. Bu yöntemler, dispersiyon eğrilerini ters çözümleyerek Vs profili elde eder; hata payı ±%10 civarında olup yöntem içi belirsizlik %5–6 düzeyindedir [10-12].

SASW yöntemi, Rayleigh dalgalarının frekans-defaz hız ilişkisinden yararlanır. Basitleştirilmiş SASW yaklaşımlarında, 36 m veya 40 m dalga boyundaki hız ölçümleriyle yüksek doğrulukta Vs_{30} tahmini yapılabilir. MASW, aktif kaynaklar ve çoklu alıcılar kullanarak daha hızlı ve yüksek çözünürlüklü profiller sağlar; bu yöntem, sıklıkla 24–48 jeofonla uygulanır [11].

Mikrotremör yöntemleri, gürültü kaynağını pasif olarak kullanır. Array ve H/V spektral oran yöntemleri ile elde edilen veriler, VS profili oluşturmak için SASW ve MASW sonuçlarıyla birlikte kullanılabilir. Bazı örneklerde, 40 m dalga boyundaki faz hızı doğrudan Vs_{30} tahmini için yeterli olmuştur [13].

Doğrudan ölçüm yapılamayan sahalarda, ampirik korelasyonlar yardımıyla Vs_{30} tahminleri yapılabilir. Standart penetrasyon (SPT-N) ve konik penetrasyon testleri (CPT) temel alınarak yapılan bu tahminlerde belirsizlik oranı daha yüksektir. Ayrıca, jeolojik birim temelli yöntemler ile geniş alanlar için haritalama yapılabilir; bu yaklaşımın belirsizliği %20–35 düzeyindedir. Vs_{30} değerinin doğruluğu, kullanılan yöntemin türü, saha koşulları ve ölçüm derinliği gibi birçok kriter tarafından etkilenir. Örneğin, bazı saha çalışmalarında doğrudan ve dolaylı yöntemlerle elde edilen Vs_{30} değerleri arasındaki fark %5–6 düzeyinde kalmaktadır. Saha veri bütünlüğü ve uygun eğrilerin kullanımı, ölçüm sonuçlarının güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir [14].

3. VS30 KULLANILARAK ZEMİN SINIFLANDIRILMASI

Bilindiği üzere Vs30, yüzeyden itibaren ilk 30 metrelik zemin ve/veya kaya katmanlarındaki ortalama kayma dalgası hızıdır. Bu parametre, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği gibi ulusal ve uluslararası standartlarda, mühendislik tasarımı amacıyla zemin sınıflarının ayrılmasında temel kriter olarak kullanılmaktadır. Vs30'un tercih edilme nedenleri arasında açık fiziksel anlamı, oran değişkeni olması, birçok zemin parametresiyle yüksek korelasyon göstermesi ve nispeten kolay ölçülebilirliği yer almaktadır. Tablo 1'de TBDY 2018'e göre zemin sınıflandırma tablosu gösterilmektedir.

Çizelge 1. Vs30 Değerlerine Göre Zemin Sınıflandırması

Zemin Sınıfı	Vs30 (m/s)	Tanım
ZA	> 1500	Sert kaya
ZB	760 < Vs30 ≤ 1500	Kaya
ZC	360 < Vs30 ≤ 760	Çok sıkı zemin – yumuşak kaya
ZD	180 < Vs30 ≤ 360	Sıkı zemin
ZE	Vs30 < 180	Yumuşak zemin
ZF	-	Saha özel değerlendirme gerektiren zeminler

Bu sınıflandırma, farklı zemin gruplarının benzer sismik davranış göstereceği varsayımına dayanmakta ve sismik tasarım katsayılarının belirlenmesinde temel alınmaktadır. Vs30 ayrıca, sismik tehlike analizleri, sismik risk değerlendirmeleri, bölgesel yer sarsıntısı tehlikesi

haritalarının hazırlanması ve sismik cihaz bölgelerinin karakterizasyonu gibi birçok uygulamada da yaygın şekilde kullanılmaktadır.

4. EDİRNE ÖZELİNDE VS30 İLE ZEMİN SINIFLANDIRILMASI

Zemin türleri ve dayanıklılığı, yer hareketine karşı gösterdiği tepkiyi doğrudan etkiler. Vs30 değeri, bu tür özelliklerin bir ölçüsü olup, farklı zemin sınıflarında karşılaşılan yer hareketlerinin frekans ve şiddet analizlerinde önemli bir parametre olarak kullanılır. Yüksek Vs30 değeri, genellikle daha sert zeminleri, düşük Vs30 değeri ise daha yumuşak zeminleri ifade eder. Bu farklı zemin özellikleri, binaların güvenliğini ve yapısal dayanıklılığını etkileyebilir. Edirne ili genelindeki 10 farklı sahada yapılan ölçümler Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda Vs30 hızları ve zemin sınıfı sütunlarına bakıldığında yüksek değerlikli Vs30 hızlarının daha sert zeminlerde, düşük değerlikli hızların ise daha yumuşak ve gevşek zeminlerde görüldüğü tespit edilmiştir.

Çizelge 2. Edirne İli Genelindeki Farklı Sahalarda Yapılan Ölçümler Sonucundaki Vs30 Değerlerine Göre Zemin Sınıflaması

ÖLÇÜM YAPILAN SAHALAR					
İl	İlçe	Mah./Köy	Ada/Parsel	Vs30 (m/sn)	Zemin Sınıfı
Edirne	Merkez	Abdurrahman Mah.	579/36	269-277	ZD
Edirne	Merkez	Talatpaşa Mah.	545/20	247-275	ZD
Edirne	Merkez	Suyolları Mah.	2841/2	287-292	ZD
Edirne	Merkez	Büyükdöllük Köyü	-/2651	369-364	ZC
Edirne	Merkez	İstasyon Mah.	1994/17	351-309	ZD
Edirne	Süloğlu	Akardere	-/1675	369-364	ZC
Edirne	Merkez	Tayakadın Köyü	268/11	279-264	ZD
Edirne	Havsa	Necatiye Köyü	111/3	387-388	ZC
Edirne	Merkez	Fırınlarsırtı	2695/1	302-297	ZD
Edirne	Süloğlu	Sülecik Köyü	105/29	826-837	ZB

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, ortalama kayma dalgası hızı (Vs30) parametresinin geoteknik mühendisliği ve deprem mühendisliği uygulamalarındaki önemi kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Vs30'un zeminlerin dinamik davranışlarının belirlenmesi, zemin sınıflandırılması, sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, sismik tehlike analizleri ve yapı-zemin etkileşimi gibi birçok mühendislik uygulamasında temel bir girdi olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle, söz konusu parametrenin doğru, güvenilir ve temsili bir şekilde belirlenmesi, yapı güvenliği ve sismik risklerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Çalışmada farklı Vs30 ölçüm ve tahmin yöntemleri karşılaştırmalı olarak incelenmiş, doğrudan, dolaylı ve ampirik yöntemlerin avantajları, sınırlılıkları ve hata payları ortaya konmuştur. Uygulama örneği olarak Edirne ili genelinde seçilen 10 farklı sahada yapılan Vs30 ölçümleri ile zemin sınıflamaları gerçekleştirilmiş ve bölgedeki zemin çeşitliliği somut verilerle ortaya konmuştur. Elde edilen bulgulara göre, Edirne ili genelinde ZB, ZC ve ZD zemin sınıflarına ait örnekler ağırlıklı olarak gözlemlenmiş; bu da bölgedeki yerel zemin özelliklerinin sismik davranış üzerindeki potansiyel etkilerine dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak, Vs30'un bölgesel zemin karakterizasyonunda etkin bir şekilde kullanılması, hem mevcut yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesinde hem de yeni yapıların güvenli tasarımında vazgeçilmez bir rol üstlenmektedir. Ancak yalnızca Vs30 parametresine bağlı kalınmasının sınırlayıcı olabileceği; bu nedenle, zemin hakim frekansı, zemin periyodu gibi ek parametrelerle birlikte değerlendirilmesinin daha güvenilir sonuçlar sağlayacağı unutulmamalıdır. Bu bağlamda, gelecekte yapılacak çalışmalarda hem farklı ölçüm tekniklerinin entegre edilmesi hem de çok parametreli zemin analizlerine yönelinmesi, bölgesel sismik güvenliğin artırılmasına önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKÇA

1. Shapiro, D., Rojahn, C., Reaveley, L. D., Smith, J. R., & Morelli, U. (2000). NEHRP guidelines and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Earthquake spectra, 16(1), 227-239.

2. Türkiye bina deprem yönetmeliği, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2019.

3. Castelli, F., Lentini, V., & Grasso, S. (2017). Recent developments for the seismic risk assessment. Bulletin of Earthquake Engineering, 15(12), 5093-5117.

4. Cruz, L., Todorovska, M. I., Chen, M., Trifunac, M. D., Aihemaiti, A., Lin, G., & Cui, J. (2024). For how large soil shear wave velocity the soil-structure interaction effects on a tall building can be neglected?–A case study. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 184, 108845.

5. Baziar, M. H., & Alibolandi, M. (2024). Assessment of liquefaction potential based on shear wave velocity: Strain energy approach. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 16(9), 3733-3745.

6. Bantis, J., Miranda, E., & Heresi, P. (2025). Simplified site response analysis for regional seismic risk assessments. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 188, 109022.

7.Hossain, A. F., Saeidi, A., Salsabili, M., Nastev, M., Suescun, J. R., & Bayati, Z. (2025). A Review of Parameters and Methods for Seismic Site Response. Geosciences, 15(4), 128.

8.Wair, B. R., DeJong, J. T., & Shantz, T. (2012). Guidelines for estimation of shear wave velocity profiles. Pacific Earthquake Engineering Research Center.

9.Hwang, S., & Stokoe, K. H. (2019). Comparison of downhole Vs profiles using conventional- and spectral-analysis methods. In Earthquake Geotechnical Engineering for Protection and Development of Environment and Constructions (pp. 2932-2940). CRC Press.

10. David W. H., & Xu, Y. (2019). Precision of Vs_{30} values derived from noninvasive surface-wave methods at 31 sites in California. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 127, Article 105802. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105802

11. Foti, S., et al. (2017). Guidelines for the good practice of surface wave analysis. Bulletin of Earthquake Engineering. https://doi.org/10.1007/s10518-017-0206-7

12. Yust, M. B. S., Abbas, A., & Foti, S. (2024). Emerging technologies and advanced analyses for non-invasive near-surface site characterization. Frontiers in Earth Science. https://doi.org/10.3389/feart.2024.1395431

13. Aki, K., & Richart, F. (2000). A review of microtremor H/V spectral ratio method and its application to V_{S30} estimation. Natural Hazards. https://doi.org/10.1023/A:1008095115284

14. Lu, C. C., & Hwang, J. H. (2020). Correlations between Vs and SPT-N by different borehole measurement methods: effect on seismic site classification. Bulletin of Earthquake Engineering, 18, 1139-1159.

DÜZCE İLİ İMARA ESAS YERLEŞİM ALANLARINDA SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN SPT VERİLERİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Sahranur TAŞER AYDIN
Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
sahrataser1@gmail.com - 0009-0009-0145-9917

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER
Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
bengusunbulguner@duzce.edu.tr - 0000-0002-3131-7997

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, Düzce ili sınırları içerisinde yer alan imara esas yerleşim alanlarına ait toplam 57 adet zemin etüt raporundan elde edilen veriler doğrultusunda zeminlerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirilmiştir. Saha verileri; Standart Penetrasyon Testi (SPT-N30) değerleri, yer altı su seviyesi (YASS) ölçümleri ve 200 No'lu elekten geçen ince taneli malzeme oranları esas alınarak analiz edilmiştir. Sıvılaşma değerlendirmelerinde, 1999 Düzce Depremi parametreleri esas alınarak Liq-It yazılımı kullanılmış; güvenlik katsayısı (FS), sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ve oturma miktarları hesaplanmıştır. Bulgulara göre, araştırılan zeminlerin %78.9'unda FS değeri 1'in altında olup, önemli bir sıvılaşma riski mevcuttur. Ayrıca, sondaj noktalarının %78,9'unda LPI değeri 15'in üzerinde tespit edilmiştir, bu da sıvılaşma potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, bölgedeki yapılaşma süreçlerinde zemin iyileştirme yöntemlerinin dikkate alınması ve mühendislik projelerinin sıvılaşma etkilerine karşı yeniden gözden geçirilmesi önerilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışma, Düzce ili özelinde bölgesel bir sıvılaşma değerlendirmesi ortaya koymak amacıyla gerçekleştirilmiş olup, ileri analizler için mühendislik altyapısı sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıvılaşma Potansiyeli, SPT, Güvenlik Katsayısı (FS), Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI), Düzce

ASSESSMENT OF LIQUEFACTION POTENTIAL IN URBAN DEVELOPMENT AREAS OF DUZCE PROVINCE BASED ON SPT DATA

ABSTRACT

In this study, the liquefaction potential of soils was evaluated based on data obtained from a total of 57 geotechnical survey reports related to legally designated residential areas within the borders of Düzce Province. The field data were analyzed based on Standard Penetration Test (SPT-N30) values, groundwater level (GWL) measurements, and the percentage of fine-grained material passing through the No. 200 sieve. The liquefaction assessments were conducted using the Liq-It software based on the parameters of the 1999 Düzce Earthquake. The safety factor

(FS), liquefaction potential index (LPI), and estimated settlement values were calculated. According to the findings, 78.9% of the investigated soils have an FS value below 1, indicating a significant liquefaction risk. Furthermore, at 78.9% of the borehole locations, the LPI value exceeds 15, revealing a high liquefaction potential. In this context, it is recommended that ground improvement methods be considered in construction processes and that engineering projects be reassessed with respect to liquefaction effects. This study aims to present a regional liquefaction evaluation specific to Düzce Province and provide an engineering basis for further analyses.

Keywords: Liquefaction Potential, SPT, Safety Factor (FS), Liquefaction Potential Index (LPI), Düzce

1. GİRİŞ

Deprem esnasında suya doygun kohezyonsuz zeminlerde boşluk suyu basıncının artması, zeminin geçici olarak taşıma gücünü yitirip sıvı davranışı göstermesine sebep olur; bu olgu literatürde zemin sıvılaşması olarak bilinmektedir [1]. Sıvılaşma sonucunda oturma ve yatay yer değiştirmeler meydana gelebilir. Zemin sıvılaşması belirtileri; 1999 depremleri sırasında Adapazarı ve Düzce şehir merkezindeki yerleşim alanlarında gözlenmiş ve depremin hemen ardından yapılan incelemelerde bu duruma bağlı ciddi yapısal hasarlar tespit edilmiştir [1] [2].

Türkiye, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer aldığı için deprem riski yüksektir. Özellikle Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerindeki Düzce ili, 1999'daki Mw 7,2 büyüklüğündeki deprem nedeniyle zemin sıvılaşma tehlikesi açısından ciddiyetle değerlendirilmesi gereken bölgelerden biridir [2].

Zemin sıvılaşma potansiyeli belirlenmesinde Standart Penetrasyon Testi (SPT) verilerine dayanan basitleştirilmiş yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle, zemin tabakalarına ait güvenlik katsayısı (FS) ve sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) hesaplanabilmektedir. Liq-It gibi yazılımlar sayesinde bu hesaplamalar kolaylıkla yapılabilmektedir. Türkiye genelinde yapılan çalışmalar, özellikle alüvyal alanlarda olduğu gibi Düzce il merkezinde de zeminlerin önemli bir bölümünün sıvılaşma risli taşıdığını ortaya koymaktadır.

Sıvılaşma, temel zeminin taşıma gücünü kaybetmesine neden olarak yapıların oturma, yan yatma ya da gömülme gibi hasarlara uğramasına yol açabilir. Nitekim 12 Kasım 1999 Düzce depreminde bazı yapılar üstyapı hasarı olmaksızın zemine batmıştır [3]. Dolayısıyla, deprem etkisi altındaki bölgelerde sıvılaşma sonucu oluşabilecek oturmaların mutlaka dikkate alınması gerekir. Bu oturmaların yapılara zarar verme potansiyeli bulunduğundan, yeni inşa edilecek yapıların temel zeminlerinin iyileştirilmesi şarttır [4]. Yapılan çalışmalar, bu tür iyileştirme yöntemlerinin boşluk suyu basıncını azaltarak zeminin dayanımını artırdığını ve yapısal hasar riskini düşürdüğünü göstermektedir [5]. Örneğin, Adapazarı'nda jet grout kolonları ile yapılan bir çalışmada, deprem sırasında oluşan boşluk suyu basıncının sönümlendiği tespit edilmiştir [6].

Sonuç olarak, Düzce ili gibi yüksek riskli bölgelerde zemin sıvılaşması tehlikesi dikkatle değerlendirilmelidir. Olası yapısal hasarların önüne geçebilmek için, zemin iyileştirme teknikleri uygulanmalı ve yapı temelleri bu riske uygun şekilde projelendirilmelidir [4].

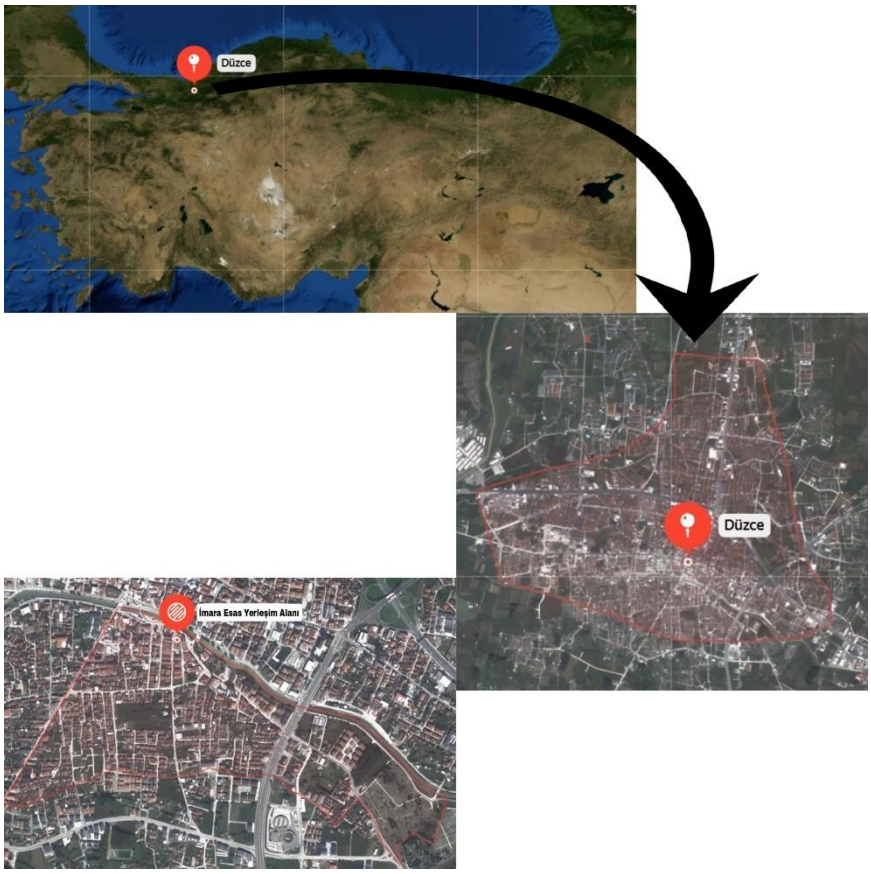
2. MATERYAL – METOT

2.1.Materyal

Bu çalışma, Düzce ili Merkez ilçesi sınırlarında yer alan ve imara esas zemin etüt raporlarına konu olmuş yerleşim alanlarında gerçekleştirilmiştir. Analiz kapsamında 57 adet sondaj noktasından elde edilen jeoteknik verileri kullanılmıştır. Çalışma sahası, Düzce kent merkezinin güney ve doğu akslarında, alüvyal ve taraça kökenli karma zemin birimlerinden oluşan bir bölgede yer almaktadır. Sondajlar 20 metre derinliklere kadar uzanmakta; zemin profilleri ise kumlu silt, kil, kum ve çakıl türündeki formasyonlardan oluşmaktadır.

Bölge, Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerinde yer aldığı için yüksek deprem riski taşımaktadır. 1999 Düzce Depremi sonrası zemin performansı açısından kritik durumlar gözlemlenmiş, bazı yerleşim yerlerinde zemin sıvılaşmasına bağlı olarak taşıma gücü kayıpları ve yapısal deformasyonlar meydana gelmiştir. Bu durum, çalışma sahasında sıvılaşma potansiyelinin ayrıntılı şekilde incelenmesini gerektirmektedir.

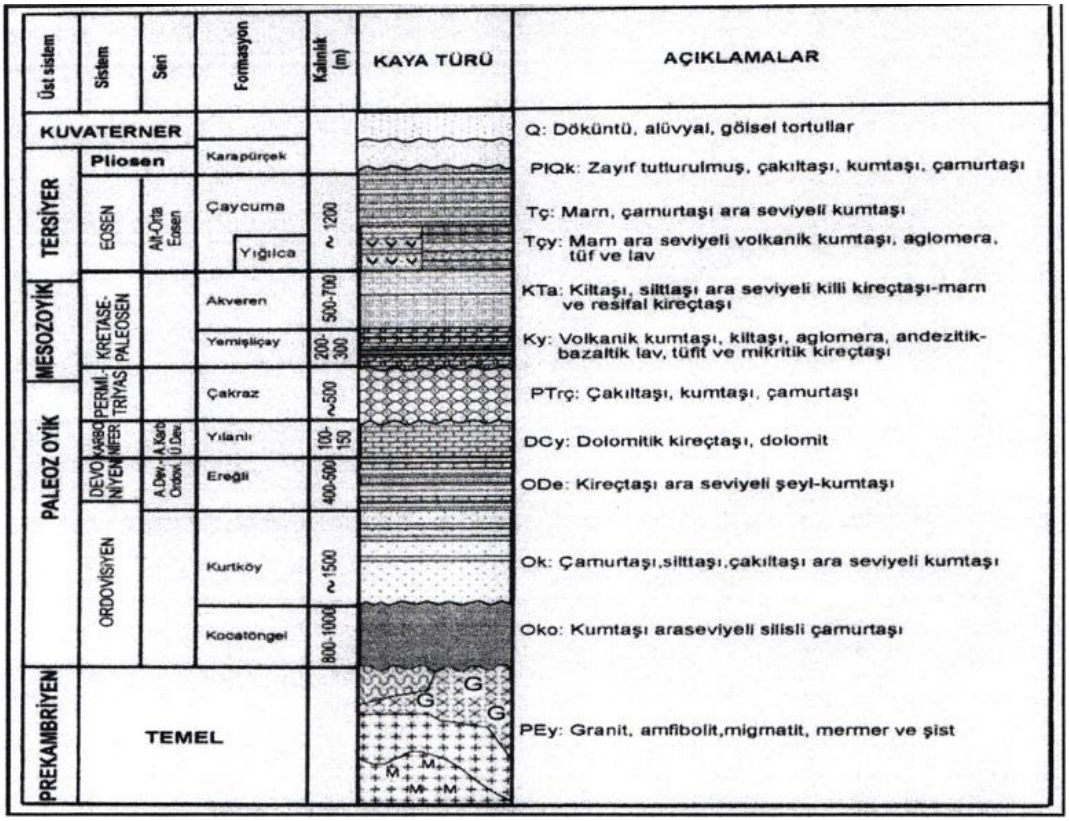
Yer altı su seviyeleri genellikle 3-4 metre aralığında tespit edilmiştir. Bu durum, bölgenin sıvılaşma açısından hassas zemin özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir.



Görsel 1. İnceleme alanı

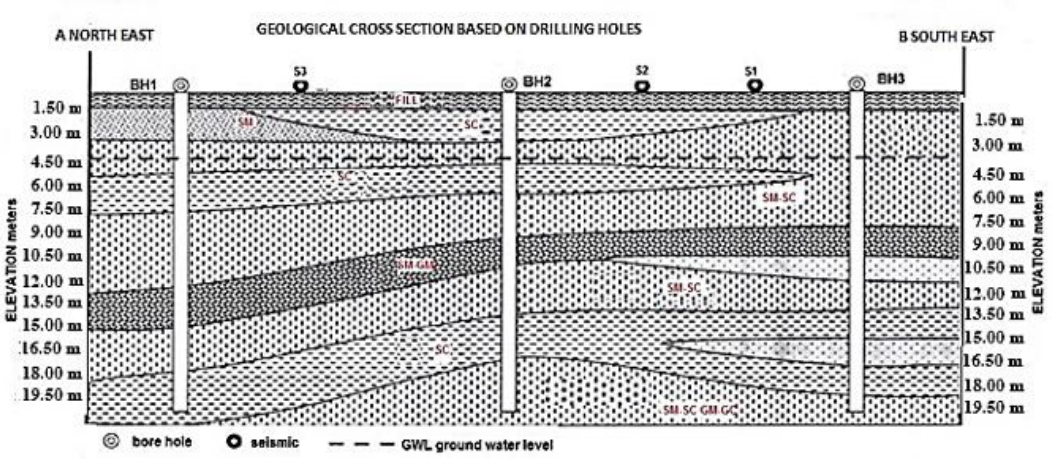
2.1.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

İnceleme alanı, Düzce ili ve çevresinde yer alan farklı yaş ve litolojik özelliklere sahip bileşenlerden oluşmaktadır. Prekambriyen yaşlı granitik kayaçlardan (Yedigöller Formasyonu), Ordovisiyen-Devoniyen dönemine ait şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanmalı formasyonlara (Kocatöngel, Kurtköy, Ereğli, Yılanlı), Triyas öncesi volkanosedimanter istiflere (Çaycuma, Akveren, Çaycuma-Yığılca Üyesi) ve yaygın olarak Kuvarterner yaşlı alüvyon ve gölsel tortullara kadar uzanan çeşitli birimlerden meydana gelmektedir (Bkz. Görsel 2). Özellikle çalışma kapsamında değerlendirilen zeminlerin büyük bölümü, genç ve mühendislik açısından zayıf özellikler gösteren Kuvaterner birimler üzerinde yer almaktadır.



Görsel 2. Düzce ve yakın çevresine ait stratigrafik kesit

Düzce havzasındaki Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gevşek dokuya, yüksek su içeriğine ve kolayca altere olabilme özelliğine sahiptir. Kum, silt, kil ve çakıl fraksiyonlarından oluşan bu çökellerin kalınlıkları yer yer 260-400 metreye ulaşmaktadır. Yüzey erozyonu ile oluşan gevşek yamaç molozları ve derin vadiler, heyelan riski açısından öncelikli olmasa da, sıvılaşma açısından dikkatle değerlendirilmelidir.



Görsel 3. İnceleme alanı karakteristik jeolojik kesiti [14]

Çalışma alanı, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde yer almakta olup, Türkiye'nin en aktif deprem kuşaklarından biridir. Düzce, Hendek ve Çilimli fayları doğrudan bu zon içerisinde bulunmaktadır. Fay zonunun geçmişte 1944, 1957, 1967 ve 1999 yıllarında önemli depremler ürettiği bilinmektedir. Yapılan değerkendirmelerde, bölgenin Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) sınıflamasına göre DD-2 (50 yılda %10 aşılma olasılığı) deprem tehlike düzeyinde yer aldığı belirlenmiştir. Bu nedenle, zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi bölge planlaması ve yapı güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Sıvılaşmanın oluşabilmesi için yer altı su seviyesinin yüzeye yakın olması gerekmektedir. Literatürde, sıvılaşma olaylarının çoğunlukla 0-3 m aralığında gerçekleştiği, bu sınırın 4 m'ye kadar uzayabildiği; ancak 5 m'den sonra olasılığın azaldığı belirtilmektedir [6].

2.2.Metot

Bu çalışma kapsamında, zemin etüt raporlarından elde edilen SPT-N_{30} değerleri temel alınarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen basitleştirilmiş sıvılaşma analiz yöntemi esas alınmış ve hesaplamalar Liq-It yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Söz konusu analizlerde, 1999 Düzce Depremi'ne ait büyüklük ve ivme parametreleri (Mw = 7.2, a_{max} = 0.52 g) referans alınmıştır [7].

Her bir zemin tabakası için sıvılaşma güvenlik katsayısı (FS) ve sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) hesaplanmış ayrıca oturma (settlement) miktarları değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, incelenen noktada kritik derinliklerde FS<1, LPI>15 ve toplam oturma 42,06 cm olarak belirlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, ilgili alanda inşa edilecek yapıların sıvılaşma kaynaklı zemin deformasyonlarına maruz kalma riski taşıdığı ortaya konmuştur.

2.2.1. Zemin Sıvılaşma Potansiyelinin Hesaplanması: Kuramsal ve Uygulamalı Yaklaşım

Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan en temel parametrelerden biri olan devirsel gerilme oranı (CSR), zemine etki eden yatay deprem ivmesine bağlı olarak hesaplanmaktadır. Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen aşağıdaki eşitlik bu hesaplama için kullanılmaktadır:

$$CSR = 0.65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \left(\frac{\sigma_{V_0}}{\sigma'_{V_0}}\right) \times r_d \quad (1)$$

Burada:

- a_{max} :Yüzeydeki maksimum ivme (g cinsinden),
- σ_{V0}: Toplan düşey gerilme (kPa)
- $\sigma'V_0$: Efektif düşey gerilme (kPa)
- r_d : Gerilme indirgeme katsayısıdır.

Bu çalışmada kullanılan deprem parametresi (PGA = 0,52 g), Müge Akın (2019) tarafından Düzce ili için yapılan benzer sıvılaşma analizlerinde önerilen değerle uyumludur [10]. Aynı zamanda kullanılan yöntem ve zemin parametrelerinin işlenişi açısından da benzerlik göstermektedir. Değerin seçiminde hem bölgeler sismotektonik özellikler hem de aktif fay hatlarına olan uzaklık dikkate alınmıştır.

Gerilme azaltma katsayısı r_d, derinliğe göre Liao ve Whitman (1986) tarafından önerilen şekilde belirlenmektedir:

- $z \leq 9{,}15$ m için: $r_d = 1 - 0{,}00765z$
- $9{,}15 < z \leq 23$ m için: $r_d = 1{,}174 - 0{,}0267z$

CSR hesaplamasının ardından, zemin dayanımı açısından devirsel direnç oranı (CRR), düzeltmeli darbe sayısı $(N_1)_{60}$ kullanılarak Youd ve ark. (2001) önerisine göre hesaplanır:

$$CRR_{7.5} = \left[\frac{1}{34-(N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{[10\times(N_1)_{60}+45]^2} - \frac{1}{200}\right] \quad (2)$$

Burada elde edilen $CRR_{7.5}$ değeri, deprem büyüklüğü düzeltme faktörü ile çarpılarak gerçek büyüklük için uyarlanır. Son olarak, sıvılaşma güvenlik katsayısı aşağıdaki eşitlikle belirlenir:

$$FS = \frac{\text{CRR}}{\text{CSR}} \quad (3)$$

FS < 1 olması durumunda zemin sıvılaşma riski taşımaktadır.

2.2.2. İnce Taneli Oranına Bağlı SPT Düzeltmeleri

Sıvılaşma analizlerinde kullanılan SPT verileri, zemin özelliklerine göre belirli düzeltmelere tabi tutulmaktadır. Özellikle zemindeki ince tane oranı (İTO), sıvılaşma direnci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda, Seed ve Youd tarafından önerilen yönteme göre, standartlaştırılmış darbe sayısı $(N_1)_{60}$ değerine ince taneli zeminler için ek düzeltmeler uygulanmaktadır. Düzeltilmiş darbe sayısı $(N_1)_{60tk}$ şu şekilde hesaplanır:

$$(N_1)_{60tk} = \alpha + \beta \times (N_1)_{60} \quad (4)$$

Burada;

α ve β, zemin içerisindeki ince taneli oranına bağlı olarak belirlenen düzeltme katsayılarıdır.

Katsayıların değeri, ince tane oranına (İTO) göre aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır:

- Eğer İTO ≤ %5 ise:

$$\alpha = 0 \, , \, \beta = 1.0 \tag{5}$$

- Eğer %5 < İTO < %35 ise:

$$\alpha = exp\left(1.76 - \frac{190}{(ITO)^2}\right) \tag{6}$$

$$\beta = \left[0.99 + \left(\frac{ITO}{1000}\right)^{1.5}\right]$$

- Eğer İTO ≥ %35 ise:

$$\alpha = 5.0 \, , \, \beta = 1.2 \tag{7}$$

Bu düzeltmeler sayesinde, zemin yapısındaki silt ve kil oranının sıvılaşma direnci üzerindeki etkisi daha doğru biçimde modellenmektedir. Düşük plastisiteli silt oranının artması, zeminin sıvılaşmaya karşı dayanımını doğrudan etkilediğinden, bu tür düzeltmeler özellikle alüvyonlu veya geçirimli ince taneli zeminler için kritik önemdedir [7,8].

2.2.3. Sıvılaşma Analizi ve Sıvılaşma Potansiyeli İndeksinin Hesaplanması

Çalışma alanındaki zeminlerin deprem etkisi altında sıvılaşma davranışını değerlendirebilmek amacıyla, 1999 Düzce Depremi parametrelerine (Mw = 7.2, PGA = 0.52 g) dayalı senaryo depremi kullanılarak LiqIt yazılımı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde her bir sondaj derinliği için sıvılaşma güvenlik katsayısı (FS), sıvılaşma potansiyeli (LPI) ve oturma (settlement) değerleri hesaplanmıştır. FS değeri < 1 olan tabakalar, sıvılaşma açısından kritik olarak değerlendirilmiştir [11]..

Güvenlik katsayısı, zemin profilinin sadece bir noktasına ait lokal değerlendirme sunduğundan, genel zemin performansını yansıtacak şekilde Iwasaki vs. tarafından önerilen Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) yöntemi uygulanmıştır. LPI, yüzeyden itibaren 20 m derinliğe kadar olan zemin tabaklarında, FS değerine bağlı olarak tanımlanan ağırlıklı bir risk parametresidir ve şu şekilde tanımlanır:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \, . \, W(z) dz \tag{8}$$

Burada:

- F(x) = 1 – FS(z), eğer FS < 1; diğer durumda F(z) = 0
- W(x) = 10 – 0.5z için z < 20; diğer durumda W(z) = 0

2.3.LiqIT Kullanımı ve Yazılım Parametreleri (Örnek Analiz)

2.3.1. Veri Girişi

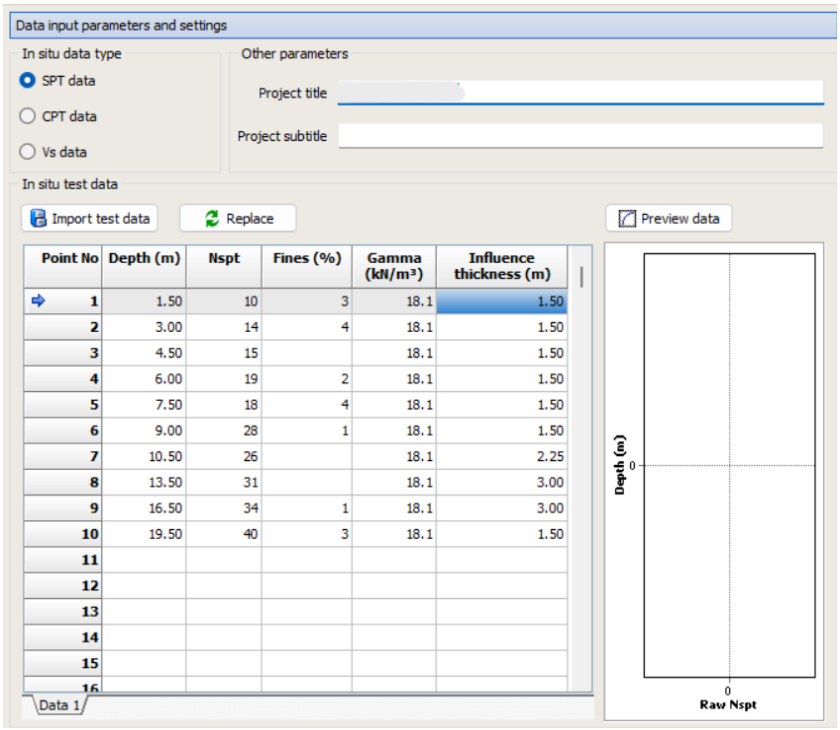
Bu çalışmada, zemin sıvılaşma analizleri LiqIT yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yazılım, saha verilerine dayalı olarak zeminleri sıvılaşma davranışını değerlendirmeye yönelik tasarlanmıştır. Uygulamada Standart Penetrasyon Testi (SPT-N) verileri esas alınmış ve analizler Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen basitleştirilmiş yönteme göre yürütülmüştür.

Yazılım, kullanıcıdan bazı zorunlu girdi parametreleri talep etmektedir. Bu çalışmada kullanılan başlıca giriş verileri şu şekildedir:

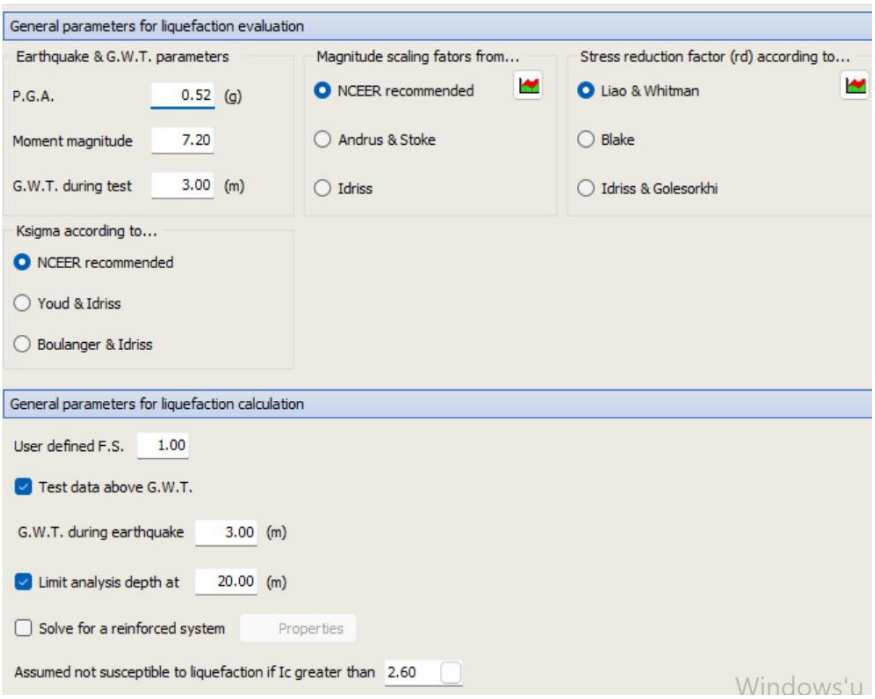
- Deprem büyüklüğü (Mw) = 7.2
- Yer ivmesi (PGA) = 0.52 g
- Yer altı su seviyesi (GWT) = 3.00 m
- Zemin birim hacim ağırlığı (γ) = 18.1 kN/m^3
- Maksimum analiz derinliği = 20.0 m

Çizelge 1. Örnek Sondaj Noktasına Ait SPT Verileri ve Zemin Özellikleri

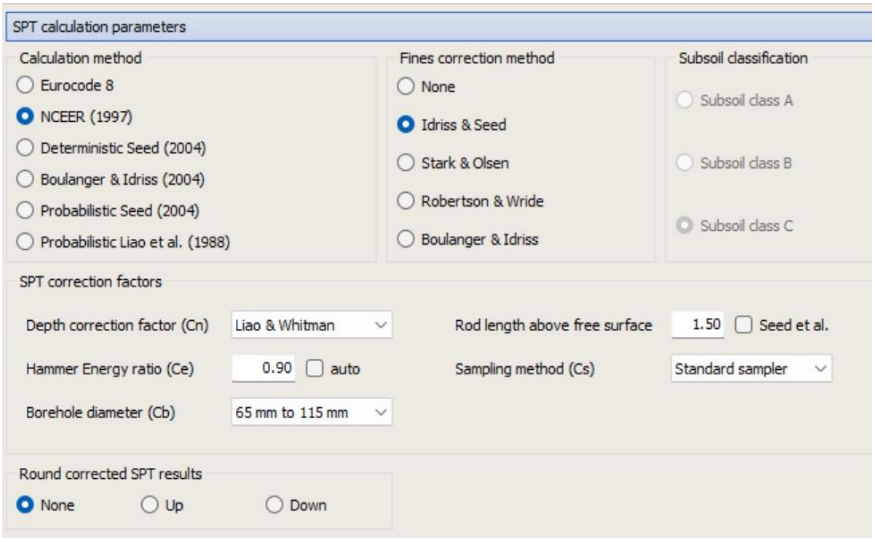
Örnek No	**Derinlik (m)**	**Zemin**	**SPT N_{30}**	**FINES (%)**	**YASS (m)**	**B.H.A. (kN/m^3)**
SPT-1	1,50	SP	10	3	3,00	18,1
SPT-2	3,00	SP	14	4		
SPT-3	4,50	SP	15	-		
SPT-4	6,00	SP	19	2		
SPT-5	7,50	SP	18	4		
SPT-6	9,00	SP	28	1		
SPT-7	10,50	SP	26	-		
SPT-8	13,50	SP	31	-		
SPT-9	16,50	SP	34	1		
SPT-10	19,50	SP	40	3		



Görsel 4. LiqIT yazılımı program girdileri (Sondaj noktasına ait sondaj logu - SPT veri girişi ve parametre tanımlamaları)



Görsel 5. LiqIT yazılımı – deprem parametreleri ve genel analiz ayarları



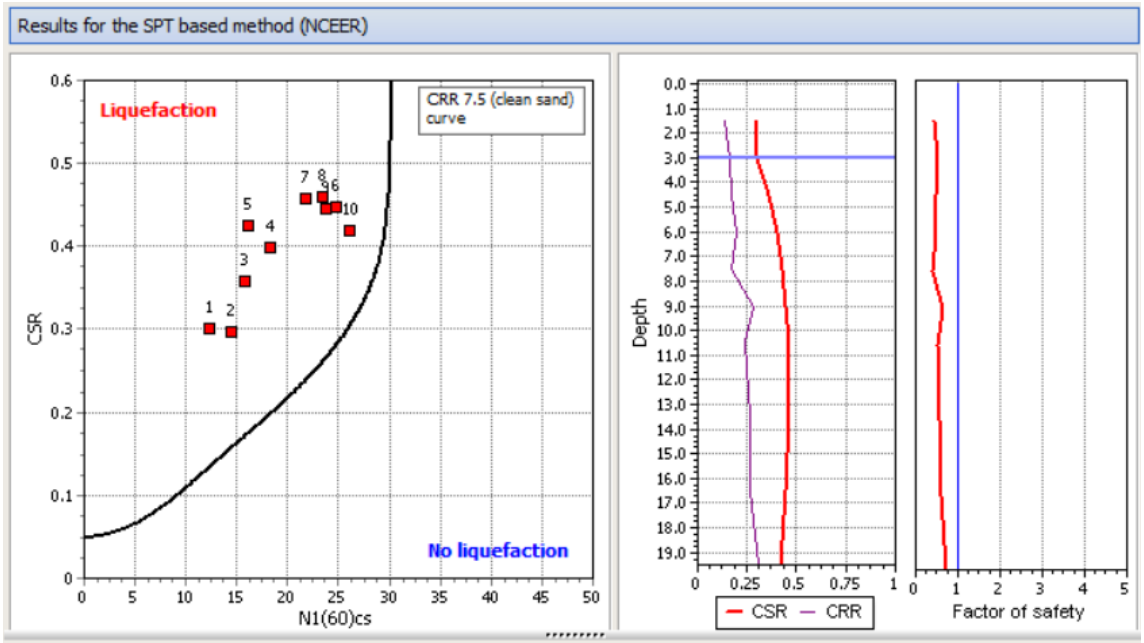
Görsel 6. LiqIT yazılımı program girdileri SPT Düzeltmeleri ve Hesaplama Yöntemleri Seçimi

Analiz süreci kapsamında, her bir zemin tabakası için devirsel gerilme oranı (CSR), devirsel direnç oranı (CRR), güvenlik katsayısı (FS) ve sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) hesaplanmıştır. LiqIT yazılımı, bu değerleri her sondaj noktası için ayrı ayrı değerlendirerek hem sayısal hem de grafiksel çıktı halinde sunmaktadır. Grafik çıktılar arasında derinliğe bağlı olarak FS, CRR, CSR eğrileri oturma (settlement) dağılımı yer almaktadır.

LiqIT aracılığıyla yürütülen analizlerde, tüm hesaplamalar daha önce açıklanan teorik altılık (Seed – Idriss, Youd ve ark., Liao – Whitman) kapsamında yürütülmüş; özellikle CRR hesaplarında düzeltmeleri $(N1)_{60}$ değerleri ve ince taneli oranına (İTO) bağlı α ve β katsayıları dikkate alınmıştır. Ayrıca yazılım, kullanıcı tanımlı FS sınırı belirlemeye de olanak tanımakta olup, bu çalışmada sıvılaşma riski değerlendirmesi için FS=1 sınır değeri esas alınmıştır.

2.3.2. Örnek Sondaj Analizi: Sayısal Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu bölümde, Düzce ili merkezinde bulunan bir örnek sondaj noktasına ait zemin tabakaları üzerinden sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Derinliği 20 metreye kadar olan bu sondajda toplam 10 adet zemin tabakası incelenmiştir. Söz konusu analizde LiqIT yazılımı kullanılmış ve her bir tabaka için devirsel gerilme oranı (CSR), devirsel direnç oranı (CRR), sıvılaşma güvenlik katsayısı (FS), sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ve oturma (settlement) değerleri hesaplanmıştır.



No	Depth	Gamma	% FC	u	Sigma	Eff. sigma	Nspt	N1(60)	N1(60)cs	CSR	CRR	F.S.
1	1.50	18.10	3.00	0.00	27.15	27.15	10.00	12.24	12.24	0.30	0.13	0.44
2	3.00	18.10	4.00	0.00	54.30	54.30	14.00	14.53	14.53	0.30	0.16	0.53
3	4.50	18.10	4.00	14.71	81.45	66.73	15.00	15.70	15.70	0.36	0.17	0.48
4	6.00	18.10	2.00	29.43	108.60	79.17	19.00	18.26	18.26	0.40	0.20	0.50
5	7.50	18.10	4.00	44.15	135.75	91.60	18.00	16.08	16.08	0.43	0.17	0.41
6	9.00	18.10	1.00	58.86	162.90	104.04	28.00	24.71	24.71	0.45	0.28	0.63
7	10.50	18.10	1.00	73.58	190.05	116.48	26.00	21.68	21.68	0.46	0.24	0.52
8	13.50	18.10	1.00	103.00	244.35	141.35	31.00	23.47	23.47	0.46	0.26	0.57
9	16.50	18.10	1.00	132.44	298.65	166.22	34.00	23.73	23.73	0.44	0.27	0.60
1.	19.50	18.10	3.00	161.87	352.95	191.09	40.00	26.04	26.04	0.42	0.30	0.72

Görsel 9. LiqIT yazılımı program (Örnek sondaj noktasına ait FS, CSR, CRR ve derinlik bazlı analiz çıktıları)

Çizelge 2. Örnek sondaj tabakalarına ait oturma, LPI ve güvenlik katsayısı (FS) sonuçları

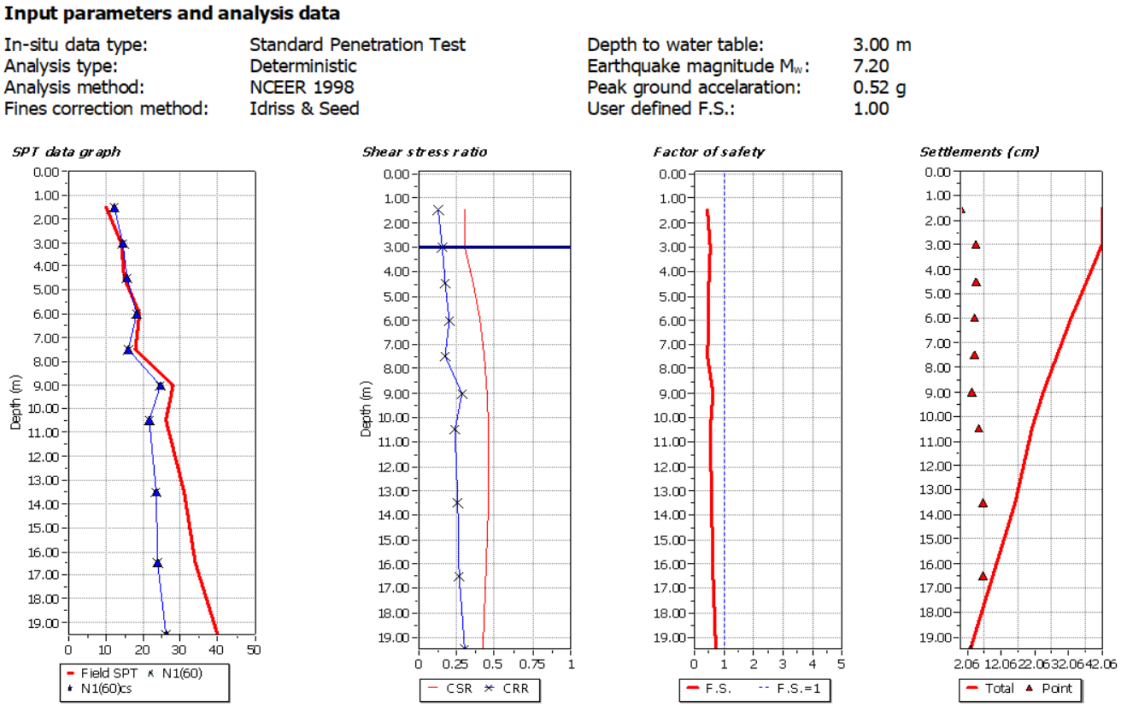
Örnek No	Derinlik (m)	Oturma (cm)	IL Sıvılaşma Potansiyeli	FS Değeri	FS Sınıfı
SPT-1	1,50	0,00	7,72	0,44	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-2	3,00	4,70	5,96	0,53	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-3	4,50	4,44	6,09	0,48	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-4	6,00	4,00	5,28	0,50	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-5	7,50	4,36	5,52	0,41	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-6	9,00	3,15	3,08	0,63	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-7	10,50	5,31	3,43	0,52	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-8	13,50	6,59	4,20	0,57	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-9	16,50	6,52	2,12	0,60	Sıvılaşma Potansiyeli Var
SPT-10	19,50	2,99	0,21	0,72	Sıvılaşma Potansiyeli Var

Çizelge 2'den elde edilen verilere göre, incelenen zemin profilinde tüm derinliklerde FS < 1 olduğundan dolayı sıvılaşma potansiyelinin mevcut olduğu görülmektedir. Güvenlik katsayısı değerleri 0,41 ile 0,72 arasında değişmekte olup, özellikle 1,50 m – 7,50 m aralığında FS

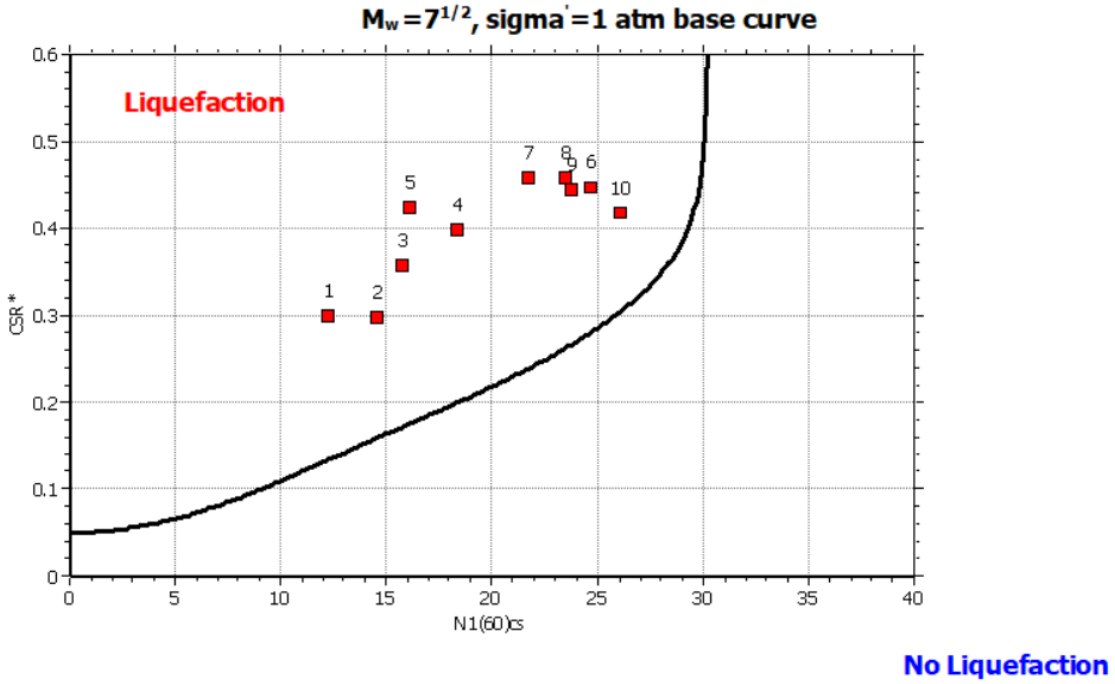
değerlerinin 0,50'nin altında olması, bu tabakalarda sıvılaşma riskinin daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Analiz sonucunda incelenen sondaj kuyusuna ait sıvılaşma potansiyeli indeksi (IL) değeri 43,61 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Iwasaki sınıflamasına göre "çok yüksek sıvılaşma potansiyeli" kategorisine girmektedir. Aynı zamanda sıvılaşma potansiyeli indeksi (IL) değerlerinin tamamı pozitif ve birçok tabakada >5 olup bu da zeminin sıvılaşmaya yatkın olduğunu desteklemektedir. Özellikle ilk 6 m içerisinde görülen yüksek sıvılaşma potansiyeli indeksi (IL) değerleri (örn. 7,72; 6,09) ve düşük güvenlik katsayısı (FS) oranları, zeminin yüzeye yakın kısımlarında sıvılaşma ihtimalinin daha kritik seviyede olduğunu ortaya koymaktadır.

Çalışmada hesaplanan toplam oturma miktarı ise 42,06 cm olarak belirlenmiştir. Bu değer, yapı güvenliği açısından kritik eşik olarak kabul edilen 30 cm'nin oldukça üzerindedir. Oturma değerleri özellikle 3-7 m arasındaki tabakalarda yoğunlaşmış ve yapı temel performansı açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken bir durumu işaret etmiştir.



Görsel 10. LiqIT yazılımı program çıktısı (Sondaj noktasına ait derinlik bazlı grafiksel sıvılaşma analizi)



Görsel 11. LiqIT yazılımı program çıktısı (CSR–$(N1)_{60}$ karşılaştırma grafiği ($CRR_{7.5}$ eğrisi üzerinde**)**

Görsel 10 ve 11'de örnek sondaj noktasına ait sıvılaşma analinin tüm temel parametreleri detaylı biçimde sunulmuştur. Görsel 10'da bulunan ilk grafikte $(N_1)_{60}$ ve düzeltmeli SPT-N değerleri ile derinlik arasındaki ilişki gösterilmekte olup, yüzeye yakın tabakalarda SPT-N değerlerinin düşük olduğu ve zeminin sıkılaşma eğiliminde olmadığı görülmektedir. Bu durum, sıvılaşmaya karşı direncin az olduğunu ortaya koymaktadır.

Görsel 10'da bulunan ikinci grafikte CSR-CRR oranları derinliğe göre değerlendirilmiş; 0-7.5 m aralığında CSR>CRR olduğu, yani güvenlik katsayısının (FS) 1'in altında kaldığı gözlemlenmiştir. Üçüncü grafikte de bu durumu destekleyen FS değerlerinin tamamının 1'in altında olduğu ve bazı katmanlarda 0.4 seviyelerine kadar düştüğü görülmektedir. Bu da zemin tabakalarının sıvılaşma açısından yüksek risk taşıdığını göstermektedir.

Dördüncü grafikte, sıvılaşma sonucu tahmin edilen oturma değerleri verilmiştir. Oturma, yüzeye yakın tabakalarda daha belirgin olup, 3,00-10,00 m derinlik aralığında en yüksek oturma değerlerine ulaşılmış, toplam oturma 42,06 cm olarak hesaplanmıştır. Bu değer, yapı güvenliği açısından kritik bir eşik olarak değerlendirilmiştir.

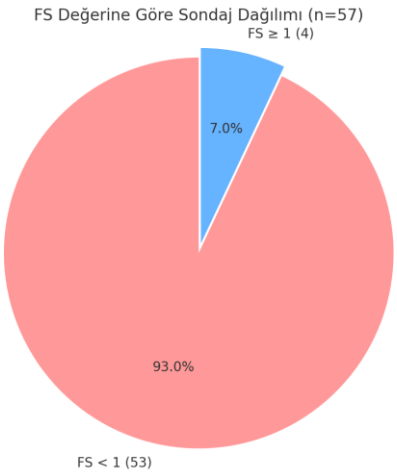
Görsel 11'de $(N_1)_{60}$–CSR dağılımı, Mw=7.5 ve σ'_o = 1 atm koşullarında oluşturulan $CRR_{7.5}$ eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Her bir zemin tabakasına ait CSR değerlerinin sıvılaşma sınır eğrisinin sol tarafında yer aldığı, dolayısıyla analiz edilen tüm tabakaların sıvılaşma açısından riskli konumda olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle tabaka 1-5 arasında CSR değerlerinin yüksek, $(N_1)_{60}$ değerlerinin ise düşük olması sıvılaşmaya karşı en zayıf zemin bölgesini temsil etmektedir.

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Düzce ili Merkez ilçesi sınırları içerisinde yer alan 57 adet sondaj kuyusu üzerinden sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir sondaj noktasında ait en düşük FS (güvenlik katsayısı) değeri, toplam oturma miktarı ve genel sıvılaşma potansiyeli (LPI) parametreleri dikkate alınarak, bölgedeki zeminlerin sıvılaşma riski istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Analiz bulgularına göre:

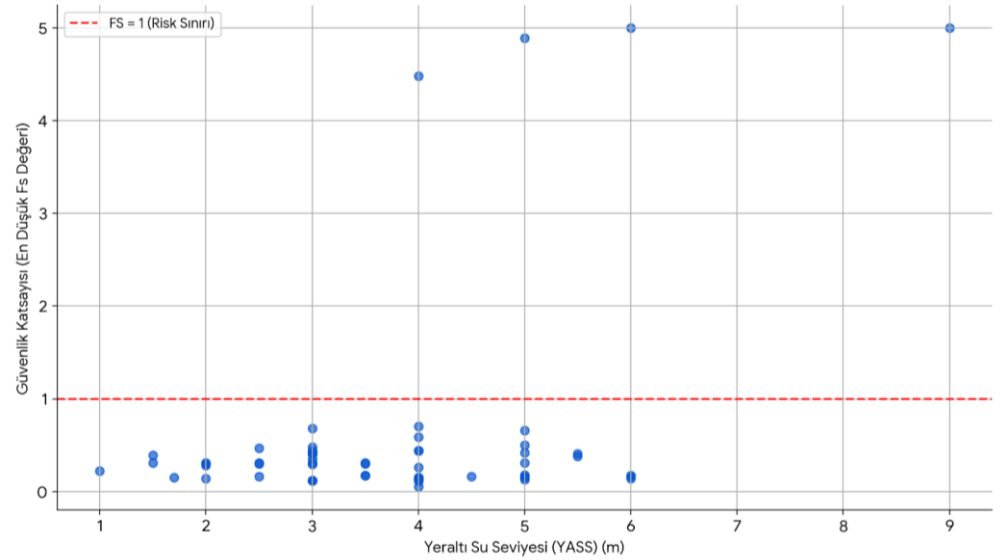
- FS < 1 olan sondaj sayısı: 53 adet yani tüm sondajların %93'ünden en az bir tabaka sıvılaşma açısından riskli bulunmuştur.



Görsel 11

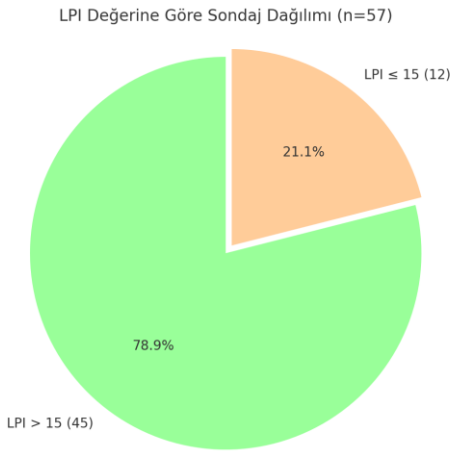
12. Güvenlik katsayısı FS değerine göre sondaj dağılımı

İncelenen nokta grafiği (Bkz. Görsel 11), yeraltı su seviyesi (YASS) derinliği ile sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS) arasındaki doğrudan ilişkiyi ortaya koymaktadır. Grafik üzerinde gösterilen kritik eşik olan FS = 1.0 çizgisi, sıvılaşma direncinin aşıldığı veya yeterli olmadığı durumu temsil ederken, FS < 1.0 değerleri sıvılaşma potansiyelinin varlığını işaret etmektedir. Saha verileri, YASS'ın özellikle 6.0 m'den daha sığ olduğu durumlarda, analiz edilen sondaj noktalarının %93'ünden fazlasında FS değerlerinin 1.0'in altında seyrettiğini ve bu bölgelerde yüksek sıvılaşma duyarlılığının bulunduğunu göstermektedir. Buna karşılık, YASS'ın 8.0 m'nin üzerinde olduğu daha derin bölgelerde, FS değerlerinin önemli ölçüde 1.0'in üzerine çıktığı ve bu derinliklerde sıvılaşma riskinin istatistiksel olarak anlamlı ölçüde azaldığı veya ortadan kalktığı gözlemlenmiştir. Bu bulgu, doygunluk koşulları ve efektif gerilme durumunun sıvılaşma direncini doğrudan etkilediğini ve bu etkinin YASS derinliği ile güçlü bir pozitif korelasyon gösterdiğini sayısal olarak doğrulamaktadır. Çalışma alanındaki belirgin şekilde düşük FS değerleri, bölgenin genelinde yaygın bir sıvılaşma duyarlılığı sergilediğini kanıtlamaktadır.



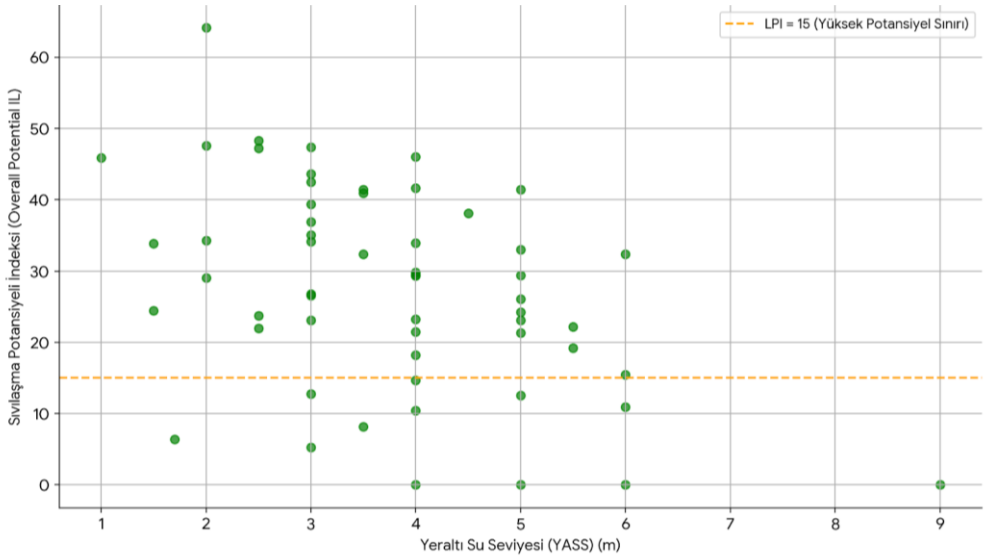
Görsel 13. Yeraltı su seviyesi (YASS) ve güvenlik katsayısı FS ilişkisi

- LPI > 15 olan sondaj sayısı: 45 adet yani sahadaki noktaların yaklaşık %79'unda sıvılaşma potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır.



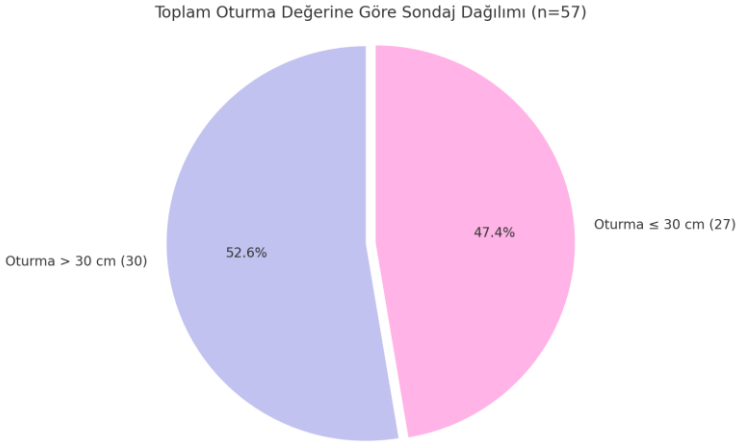
Görsel 14. Genel sıvılaşma potansiyeli LPI değerine göre sondaj dağılımı

Bu grafik (Bkz. Görsel 13), YASS derinliği ile Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) arasındaki ilişkiyi göstermektedir. LPI değeri, sıvılaşmanın yüzeyde yol açabileceği hasarın şiddetini tahmin etmeye yarayan bir parametredir ve genellikle LPI > 15 olması "çok yüksek sıvılaşma potansiyeli" olarak yorumlanır. Grafikteki dağılım, YASS derinliği azaldıkça (yeraltı suyunun yüzeye yaklaştığı durum) LPI değerlerinin önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Özellikle YASS < 5.0 m olduğu durumlarda, birçok noktanın LPI = 15 eşiğini aştığı ve çok yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu bulgu, sismik yükler altında zemin davranışının YASS ile doğrudan ilişkili olduğunu ve yüzeye yakın yeraltı suyu seviyelerinin, sıvılaşma kaynaklı yüzey deformasyonları ve yapılar üzerindeki olumsuz etkiler açısından ciddi risk teşkil ettiğini göstermektedir.



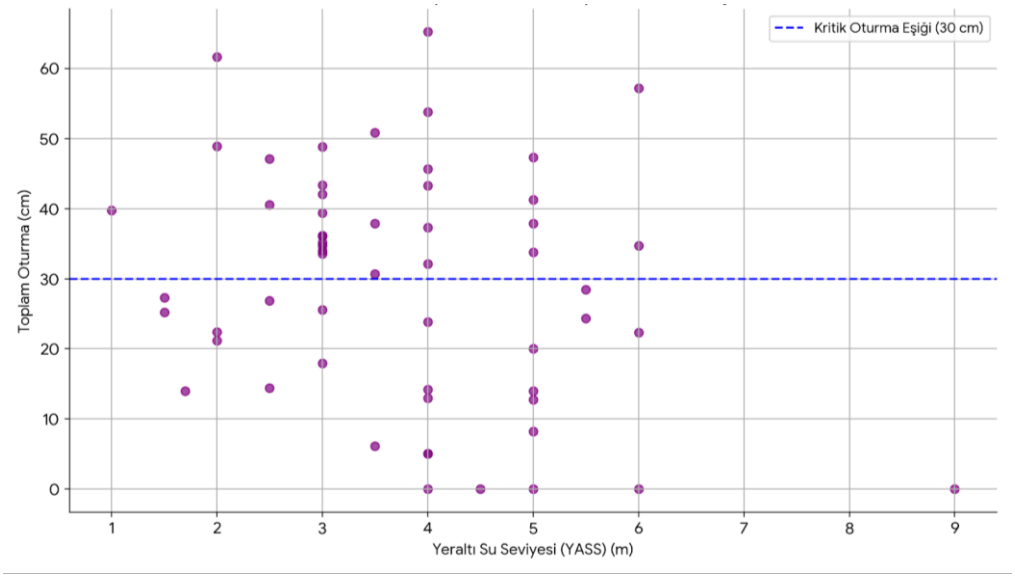
Görsel 15. Yeraltı su seviyesi (YASS) ve sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) ilişkisi

- Toplam oturma > 30 cm olan sondaj sayısı: 30 adet bu da yapı temellerinde ciddi oturma riskinin %53 oranında olduğunu göstermektedir.



Görsel 16. Toplam oturma değerine göre sondaj dağılımı

Son nokta grafiği (Bkz. Görsel 15), YASS derinliği ile sıvılaşma sonrası beklenen toplam oturma miktarı arasındaki ilişkiyi sunmaktadır. 30 cm'lik kritik oturma eşiği, yapısal hasar açısından önemli bir sınır değeridir. Grafikte, özellikle YASS'ın sığ olduğu (YASS < 5.0 m) bölgelerde, beklenen toplam oturma değerlerinin bu kritik eşiği sıkça aştığı gözlemlenmektedir. Oturma değerlerinin varyasyonu, zemin tabakalanmasındaki heterojenlik ve sıvılaşmaya duyarlı tabakaların kalınlığı ile de ilişkili olabilir. Ancak genel eğilim, YASS'ın yüzeye yakın olduğu alanlarda sıvılaşma sonucu meydana gelebilecek zemin oturmalarının, yapıların servis ve güvenlik limitlerini zorlayacak seviyelere ulaşabileceğini göstermektedir. Bu durum, bölgedeki mevcut ve planlanan yapıların temelleri için özel geoteknik tasarım ve iyileştirme önlemlerinin elzem olduğunu ortaya koymaktadır.



Görsel 17. Yeraltı su seviyesi (YASS) ve toplam oturma ilişkisi

Yapılan çalışma, Düzce'nin güney ve doğu yerleşim bölgelerinde zemin sıvılaşma potansiyelinin ciddi boyutlarda olduğunu ortaya koymuştur. Bölgede yeraltı su seviyesinin genellikle 2.00-4.00 m arasında ölçülmesi, sıvılaşma için gerekli doygunluk koşullarının sağlandığını göstermektedir. Düşük Standart Penetrasyon Testi (SPT-N) değerleriyle birleşen bu hidrojeolojik koşullar, yapı temellerinde taşıma gücü kayıpları ve deprem sonrası aşırı oturma riskini artırmaktadır.

Oluşturulan grafikler, Yeraltı Su Seviyesi (YASS) derinliğinin sıvılaşma riskini değerlendirilmesinde kritik bir parametre olduğunu bilimsel olarak desteklemektedir. Grafikler, YASS'ın yüzeye yakın olduğu bölgelerde, Güvenlik Katsayısı (FS) değerlerinin genellikle 1.0'in altında kaldığını, Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI) değerlerinin yüksek seviyelere ulaştığını ve sıvılaşma sonrası beklenen Toplam Oturma miktarlarının kritik eşikleri (30 cm) aştığını göstermektedir. Bu bulgular, söz konusu alanlarda yapılaşma için yüksek bir geoteknik riskin bulunduğunu ve kapsamlı geoteknik önlemlerin gerekliliğini işaret etmektedir.

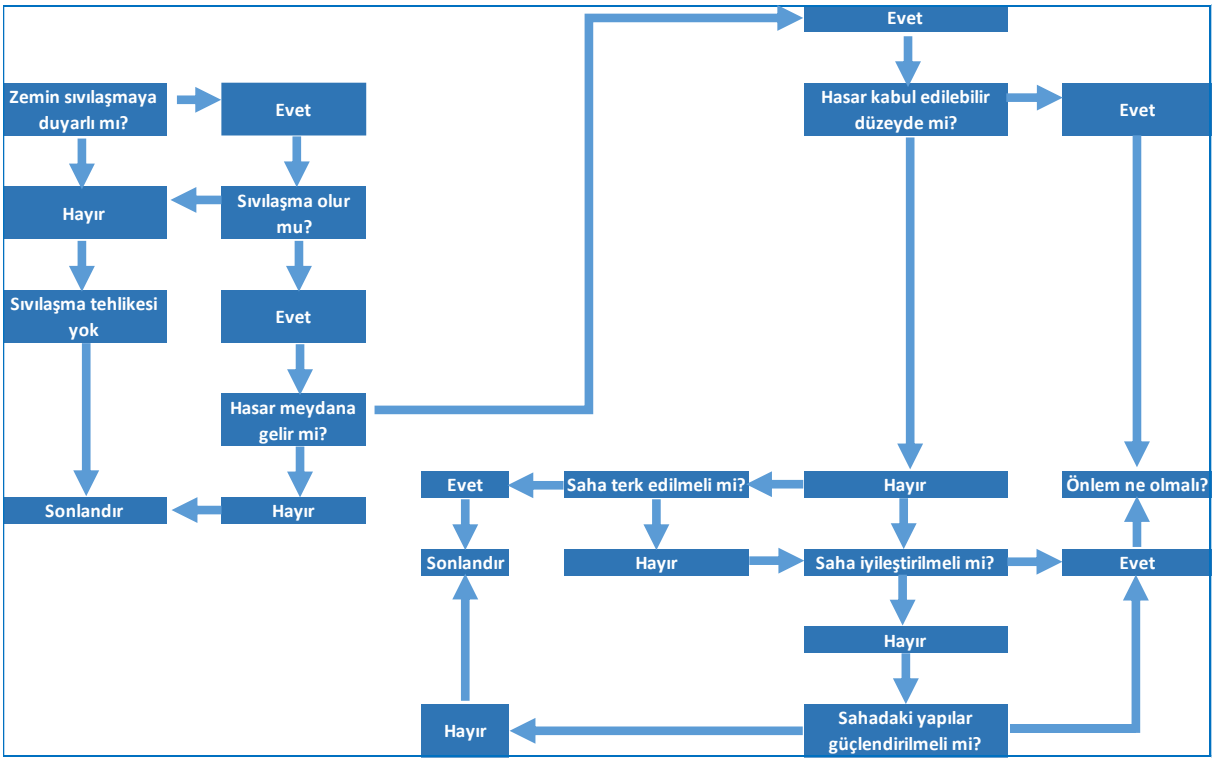
4. ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında Düzce iline ait imara esas yerleşim alanlarında gerçekleştirilen zemin sıvılaşma potansiyeli analizleri sonucunda elde edilen bulgular doğrultusunda, bölgedeki yapı güvenliğini artırmak ve deprem kaynaklı hasarları minimize etmek amacıyla aşağıdaki detaylandırılan önlemlerin alınması önem arz etmektedir:

- Zemin İyileştirme Uygulamaları: Güvenlik Katsayısı'nın (FS) 1.0'in altında ve Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi'nin (LPI) 15'in üzerinde olduğu bölgelerde (analiz edilen sondajların sırasıyla %93'ü ve %79'u bu durumu sergilemektedir), zemin iyileştirme uygulamaları zorunlu olarak değerlendirilmelidir. Bu uygulamalar, zeminin sıvılaşma direncini artırmaya yönelik jet grout, drenaj sistemleri ve vibrasyonlu sıkıştırma (kompaksiyon) gibi yöntemleri içermelidir. Özellikle 2.00-4.00 m arasındaki yeraltı su seviyesi derinlikleri göz önüne alındığında, boşluk suyu basıncını kontrol altına alacak veya zemin sıkılığını artıracak çözümler kritik öneme sahiptir.

- Yapısal Tasarım Modifikasyonları: Sıvılaşma riski taşıyan zemin koşullarına sahip alanlarda, yapıların sıvılaşmaya karşı dayanımını artırıcı tasarım modifikasyonları uygulanmalıdır. Bu kapsamda, derin temel sistemleri (örneğin kazıklı temeller) veya rijit bodrumlu sistemler gibi, üst yapıyı sıvılaşma etkilerinden daha etkin koruyacak temel çözümleri tercih edilmelidir. Bu tür sistemler, zemin-yapı etkileşimini optimize ederek sıvılaşma kaynaklı taşıma gücü kaybı ve aşırı oturma risklerini azaltacaktır.

- Çok Aşamalı Karar Mekanizmalarının Entegrasyonu: Sıvılaşma tehlikesine karşı alınacak önlemler, tekil çözümler yerine hem zemin bazında hem de yapı bazında çok aşamalı ve bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır. Mollamahmutoğlu ve Babuççu (2021) tarafından sunulan yaklaşıma benzer karar ağaçları (Bkz. Görsel 17) kullanılarak, saha verileriyle (örn. %93 FS<1, %79 LPI>15, %53 oturma miktarı>30 cm) ilişkilendirilmiş, duruma özel ve kademeli mühendislik kararları alınmalıdır. Bu karar ağaçları, zemin sıvılaşmasına duyarlılık, sıvılaşma oluşumu, hasar kabul edilebilirliği ve alınacak önlemlerin belirlenmesi gibi adımları sistematik olarak yönlendirebilir.



Görsel 18. Zemin sıvılaşma potansiyeline karşı alınacak önlemlerin karar ağacı [12].

Bu öneriler, Düzce'nin sismik aktivite ve zemin koşulları göz önüne alındığında, sürdürülebilir ve güvenli bir kentsel gelişim için bilimsel temellere dayalı stratejiler sunmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Tolon, M., *Karşılaştırmalı Sayısal Sıvılaşma Analizi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.

2. Ateş, A., Gölyaka (Düzce) İmara Esas Yerleşim Alanındaki Zeminlerin SPT ve Sismik Hız Verileriyle Sıvılaşma Riskinin Araştırılması, Politeknik Dergisi, 2017; 20 (4) : 753-763.

3. Gökçeoğlu, C., Seyitoğlu, G. ve Ocakoğlu, F. (2000). 1999'da 2. Deprem Notları ve 2. Deprem Dersleri: 12 Kasım 1999 Düzce-Kaynaşlı Depremi. (https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/08975bae8a7f4f2_ek.pdf)

4. Ateş, A., Standard Penetrasyon Deneyi (SPT) ile Düzce ili Darıcı Mahallesi Zemininin Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2 (2014) 394–406.

5. Davran, S., Özocak, A., Sert, S. ve Bol, E., Alüvyon Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Sayısal Analiz ile Belirlenmesi ve Zemin İyileştirmesinin Analize Etkileri, Politeknik Dergisi, 2024; 27(3) : 1029-1041.

6. Karanlık, S., *Hatay Altınkoy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.

7. Seed, H.B., Idriss, I.M. (1971). *Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential*, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 97 (9), 1249-1273.

8. Youd T.L et al., (2001), *Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of Soils*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127, No.10, pp.817-832

9. Liao S.S.C. ad Whitman R.V. (1986). *Overburden Correction Factors for SPT in Sand. Journal Of Geotechnical Engineering*, ASCE, 112 (3): 373-377.

10. Akın, K. M., Düzce İli ve Yakın Çevresindeki Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin SPT Verileriyle Değerlendirilmesi, Jeoloji Mühendisliği Dergisi 43 (1), 2019.

11. Iwasaki, T., Tatsuoka, F., Tokida, K., & Yasuda, S. (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential based on case studies in Japan. *Proceedings of 2nd International Conference on Microzonation*.

12. Mollamahmutoğlu, M., Babuçcu, F., *Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri*, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi – AFRY Austria GmbH Ankara Şubesi, 2021.

13. www.geologismiki.gr (Erişim tarihi: 05.05.2025)

14. Güner, A. B. S., & Özgan, E. (2025). *Statistical Analysis of Soil Parameters Affecting the Bearing Capacity and Settlement Behaviour of Gravel Soils*. Applied Sciences, 15(10), 5271.

EDİRNE-İPSALA ÖRNEĞİNDE ZEMİN SIVILAŞMA RİSKİNİN TBDY 2018 KAPSAMINDA İNCELENMESİ

Rıdvan ZORER

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD

1248202014@ogrenci.kirklareli.edu.tr – 0009-0008-0053-1043

Doç. Dr. Erdinç KESKİN

Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

erdinckeskin@klu.edu.tr - 0000-0002-8728-2906

ÖZET

Zemin sıvılaşması ve buna bağlı yapısal hasarlar, birçok depremde tekrarlayan ve yıkıcı sonuçlar doğuran önemli bir problemdir. Ciddi maddi ve can kayıplarına yol açabilme potansiyeli nedeniyle sıvılaşma, inşaat mühendisliği alanında titizlikle ele alınması gereken kritik bir konudur. Bu bağlamda, sıvılaşma potansiyelinin detaylı incelenmesi ve risklerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu çalışma, Edirne ili İpsala ilçesi sınırları içinde belirlenen bir inceleme alanındaki zemin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, bölgenin zemin özelliklerini belirleyebilmek amacıyla mevcut bir geoteknik etüt raporu incelenmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında açılan sondaj kuyularından elde edilen geoteknik parametreler ve Standart Penetrasyon Testleri (SPT) sonucunda ulaşılan SPT-N değerleri kullanılmıştır. Bu veriler ışığında, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) esas alınarak, moment büyüklüğü 5 ile 8 arasında değişen olası deprem sena-olarına göre sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler neticesinde, incelenen zemin profilinde sıvılaşma riski taşıyan tabakalar belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler : SPT-N, sıvılaşma analizi, TBDY 2018

1.GİRİŞ

Deprem etkisi altındaki zemin davranışı, yapı güvenliğini doğrudan etkileyen en kritik parametrelerden biridir. Özellikle gevşek, suya doygun ve kumlu zeminlerde görülen sıvılaşma, zeminin geçici olarak taşıma gücünü kaybederek yapıda hasarlar meydana gelmesine sebep olmaktadır. Sıvılaşma, deprem sırasında zemin içerisindeki boşluk suyu basıncının artması ve efektif gerilmelerin sıfıra yaklaşmasıyla meydana gelen karmaşık bir süreçtir. Bu süreç; binaların oturmasına, devrilmesine, istinat yapıların çökmesine gibi problemlerin ortaya çıkmasına yol açmaktadır.

İlk kez 1964 yılında Alaska'da meydana gelen Good Friday ve Japonya'da meydana gelen Niigata depremlerinde sıvılaşma gözlenmiştir. Depremler sırasında sıvılaşmaya bağlı olarak büyük çaplı deformasyonlar meydana gelmiştir. Türkiye'de ise 17 Ağustos Kocaeli ve 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinde sıvılaşmaya bağlı olarak hasarlar meydana gelmiştir. 1999 Kocaeli ve 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri, zemin sıvılaşmasının binalarda yıkıcı hasarlara yol açabileceğini açıkça göstermiştir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde, özellikle Adapazarı şehir merkezinde dar cepheli, yüksek ve narin binaların, üst yapılarında kayda değer bir hasar oluşmamasına rağmen temelleriyle birlikte devrildiği gözlemlenmiştir. Bu devrilmelerin temel nedeni, deprem yükü nedeniyle artan taban gerilmelerinin zemin taşıma kapasitesini aşması olarak belirtilmiştir. İzmit Körfezi ve çevresinde ise gevşek, suya doygun taneli zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin yüksek olduğu ve bunun ani oturmalara, yanal yayılmalara, ötelemelere ve devrilmelere yol açtığı belirlenmiştir. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri bağlamında ise, özellikle Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesi, Hatay'ın İskenderun ilçesi ve Kahramanmaraş'ın Türkoğlu bölgelerinde yaygın sıvılaşma etkileri gözlemlenmişti. Bu etkiler arasında zeminde sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı nedeniyle binalarda oluşan eğilmeler, oturmalar ve devrilmeler yer almıştır [1-8].

Sıvılaşmanın belirlenmesi amacıyla, zemin özelliklerini doğrudan ölçen çeşitli saha deneyleri kullanılmaktadır. Bu testler arasında en yaygın olanlar; Standart Penetrasyon Testi (SPT) ile elde edilen vuruş sayıları, Konik Penetrasyon Testi (CPT) ile belirlenen konik direnç değerleri ve Kayma Dalgası Hızı (Vs) ölçümleridir. Elde edilen saha verileri, genellikle ampirik ve yarı-ampirik analiz yöntemleriyle değerlendirilir. Özellikle Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen basitleştirilmiş prosedür ile bu yöntemin Youd ve arkadaşları (2001) ile Idriss ve Boulanger (2006, 2008, 2010) tarafından geliştirilen versiyonları, sıvılaşma güvenlik katsayısının (FS) hesaplanmasında temel teşkil etmektedir. Buna ek olarak, Iwasaki ve arkadaşları (1982) tarafından önerilen Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI), bir bölgenin genel

sıvılaşma potansiyelini haritalamak için kullanılırken; Ishihara ve Yoshimine (1992) gibi araştırmacıların geliştirdiği yöntemler ise sıvılaşma sonrası meydana gelebilecek zemin oturmalarını tahmin etmede yardımcı olmaktadır. Daha gelişmiş yaklaşımlar ise, model belirsizliklerini ve zemin özelliklerinin mekânsal değişkenliğini dikkate alan tamamen olasılıksal içermektedir. Ayrıca, DEEPSOIL ve LPile gibi özel yazılımlar; dinamik yükler altındaki zemin davranışını ve kazık-zemin etkileşimini modellemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [9-16].

Türkiye'nin aktif fay hatları üzerinde yer alması ve pek çok yerleşim yerinin alüvyonal zeminler üzerine kurulu olması, sıvılaşma potansiyelinin bölgesel ölçekte değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ancak yapı tasarım sürecinde çoğu zaman yalnızca üstyapının depreme karşı performansı dikkate alınmakta, zemin koşulları ihmal edilmektedir. Oysa deprem mühendisliğinde hem yapının hem de zeminin davranışının bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, sıvılaşma riskinin doğru şekilde belirlenebilmesi için, öncelikle detaylı bir zemin etüdü yapılmalı; ardından bu veriler kullanılarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmelidir. Analizlerin sağlıklı bir şekilde yürütülmesi, olası yapı hasarlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Edirne ili İpsala ilçesi sınırları içerisinde yer alan bir alan özelinde, zemin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Arazi çalışmalarında elde edilen SPT sonuçları kullanılarak, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) esaslarına uygun şekilde sıvılaşma tetiklenme analizleri yapılmıştır. Söz konusu analizlerde moment büyüklüğü 5 ile 8 arasında değişen sena-o depremleri dikkate alınmış; zemin profilinde yer alan sıvılaşmaya duyarlı katmanlar belirlenmiş ve elde edilen bulgular grafikler ve tablolar yardımıyla sunulmuştur.

2.SIVILAŞMA ANALİZİ

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) Madde 16.6.2'de sıvılaşma, yeraltı su seviyesinin altında bulunan, yüzeyden itibaren 20 metre derinliğe kadar olan kohezyonsuz veya düşük plastisiteli (PI < %12) zeminlerin, deprem yüklemesi etkisiyle boşluk suyu basıncında meydana gelen artışa bağlı olarak kayma mukavemetinin ve rijitliğinin önemli ölçüde azalması olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda sıvılaşmaya yatkın zemin türleri, aynı yönetmeliğin Madde 16.6.4'ünde "yeraltı su tablası altında bulunan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları" şeklinde belirtilmiştir. Söz konusu zeminler, düşük

kohezyonları, yüksek geçirgenlikleri ve suya doygun olmaları nedeniyle sıvılaşmaya karşı hassas kabul edilirler [17].

Zemin mühendisliği açısından kayma mukavemeti, zeminin kesme gerilmelerine karşı gösterdiği direnç olup, bir zeminin stabilitesini ve yük taşıma kapasitesini belirleyen temel parametrelerden biridir. Deprem sırasında zeminde oluşan geçici dinamik gerilmeler, boşluk suyu basıncını artırarak efektif gerilmeyi azaltmakta ve bu durum zeminin kayma mukavemetinde ciddi bir azalmaya yol açmaktadır. Zemin, bu aşamada rijitliğini kaybederek katı bir kütle gibi değil, bir sıvı gibi davranmaya başlar. Bu durum; yapıların oturmasına, eğilmesine, devrilmesine, istinat yapılarının göçmesine, yeraltı altyapı elemanlarının yüzeye çıkmasına ve yanal yayılmalara neden olabilir.

Sıvılaşmanın meydana gelip gelmeyeceği yalnızca zemin türüne bağlı olmayıp, yeraltı su seviyesinin konumu, zemin yoğunluğu, dane boyu dağılımı, plastisite özellikleri, deprem ivmesi ve süresi gibi birçok parametrenin bileşkesiyle belirlenmektedir. Bu nedenle sıvılaşma riski, yerel zemin koşullarının ayrıntılı olarak değerlendirilmesini gerektiren çok boyutlu bir mühendislik problemidir. Zemin sıvılaşmasının yapılar üzerindeki etkileri dikkate alındığında, sıvılaşma potansiyelinin önceden belirlenmesi, tasarım aşamasında gerekli mühendislik önlemlerinin alınması açısından kritik önem taşımaktadır.

Standart Penetrasyon Testi (SPT), zemin mühendisliğinde sıkça başvurulan ve özellikle sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir arazi deneyidir. Bu deney, zeminlerin sıkılık derecesi ve dayanım özellikleri hakkında dolaylı fakat pratik bilgiler sunması nedeniyle hem mühendislik uygulamalarında hem de akademik çalışmalarda önemini korumaktadır. SPT, özellikle kohezyonsuz zeminlerde sıvılaşma analizleri için temel parametrelerden biri olan darbe sayısı (N değeri) aracılığıyla zeminin davranışını karakterize etmektedir.

Sıvılaşma analizinin ilk adımı, zemin profilinin ve sismik parametrelerin uygun şekilde tanımlanmasıdır. Bu aşamada toplanması gereken temel veriler, zemine ait SPT-N değerleri, zemin özellikleri, yeraltı su seviyesi, tabaka kalınlığı, derinlik ve depremin büyüklüğüdür.

Sıvılaşma Direncinin Hesaplanması Deprem sırasında bir zeminin sıvılaşmaya karşı göstereceği direnç, çevrimsel dayanım oranı (CRR) ile temsil edilir. Analizlerde, moment büyüklüğü Mw = 7.5 olan bir deprem için tanımlanan dayanım oranı ($CRR_{7.5}$) temel alınır.

TBDY-2018 Ek 16B.4b maddesine göre, $N_{1,60}f$ değeri kullanılarak çevrimsel dayanım oranı ($CRR_{7.5}$) ampirik olarak belirlenir. Ancak bu yöntem, $N_{1,60}f \geq 34$ olması durumunda geçerliliğini yitirmektedir. Bu eşik değerin üzerindeki zeminler için CRR tanımsız kabul edildiğinden, sıvılaşma analizi bu değerle sınırlandırılır.

Bu sınırlandırma, zemin direncinin sıvılaşma riskini ortadan kaldıracak düzeyde yüksek olduğunu varsayan mühendislik yaklaşımına dayanmaktadır. Elde edilen $CRR_{7.5}$ değeri, daha sonra zemin profiline etki eden sismik yüklemeyle karşılaştırılarak sıvılaşma güvenlik katsayısı (FS) hesaplamasında kullanılır. Ayrıca tasarım deprem büyüklüğüne göre düzeltme yapılabilmektedir.

$$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34-N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{\left[10N_{1,60f}+45\right]^2} - \frac{1}{200}$$

$N_{1,60f}$: İnce dane oranına göre düzeltilmiş SPT-N darbe sayısı.

Zemin sıvılaşma değerlendirmesinin SPT deney sonuçları kullanılarak yapılmasına dayanan yöntem TBDY-2018 EK 16B'de verildiği şekilde yapılmaktadır. Buna göre sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının FS≥ 1.10 olması öngörülmektedir. Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu sağlanmaz ise "**Sıvılaşma Beklenir**", koşul sağlanır ise "**Sıvılaşma Yok**" olarak ifade edilmektedir.

Sıvılaşma analizlerinde elde edilen güvenlik katsayıları (FS), zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olmakla birlikte, tek başına yeterli değildir. Çünkü sıvılaşma tehlikesi, sadece güvenlik katsayısına değil, aynı zamanda sıvılaşmaya müsait zemin tabakalarının kalınlığına ve yüzeye olan derinliklerine de doğrudan bağlıdır. Bu nedenle, daha gerçekçi ve kapsamlı bir değerlendirme yapılabilmesi amacıyla, zemin profiline ait sıvılaşma güvenlik katsayıları ile tabaka kalınlıklarının birlikte değerlendirildiği Sıvılaşma Risk İndeksi (Ls) yaklaşımı kullanılmaktadır.

3.İNCELEME ALANININ ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada, Edirne İli, İpsala İlçesi sınırları içerisinde yer alan bir inceleme alanı seçilmiştir. Bölgeye ait zemin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla, mevcut bir geoteknik etüt raporu

incelenmiş ve söz konusu alandaki zemine ilişkin geoteknik parametreler, SPT (Standart Penetrasyon Testi) sonuçları ve sismik verilere ulaşılmıştır.

Sahadaki zeminin özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla, arazi çalışmaları kapsamında toplam sekiz (8) adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu sondajlardan elde edilen veriler, bölge formasyonunun tabakalaşma yapısı, zemin türleri, yer altı su seviyesi ve diğer mühendislik özelliklerinin yorumlanmasında temel teşkil etmiştir. İnceleme alanına ait bazı seçilmiş geoteknik parametreler, aşağıda Tablo 1'de ve Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 1. 8 farklı sondaj kuyusundan elde edilen SPT – N değerleri

Derinlik (m)	SK -1	SK -2	SK -3	SK -4	SK -5	SK -6	SK -7	SK -8
1,50								
3,00				6				
4,50	9	8	21	7	7	8	10	
6,00	25	14	24	15	9	9	7	10
7,50	24	10	24	9	14	7	8	8
9,00	38	20	25	25	6	26	24	17
10,50	32	29	35	27	42	42	38	47
12,00	36							
13,50								
15,00								

Tablo 1 ve Tablo 2 bir arada değerlendirildiğinde sıvılaşma potansiyeli olan zeminler Tablo 2'de kırmızı renk ile gösterilmiştir. Bu tabakalara karşılık gelen SPT-N değerleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 2. Zemin sınıfları

Derinlik (m)	SK -1	SK -2	SK -3	SK -4	SK -5	SK -6	SK -7	SK -8
1,50	Dolgu	Dolgu	Dolgu	Dolgu	Dolgu	Dolgu	Dolgu	Dolgu
3,00	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC
4,50	SC	SC	SW-SM	CL	SC	SC	SC	SM
6,00	SW-SM	SM	SW-SM	SM	SM	SW-SM	SC	SM
7,50	SW-SM	SM	SW-SM	SM	SM	SW-SM	SC-SM	SM
9,00	SW-SM	SM	SW-SM	SC	SM	SW-SM	SC-SM	SC
10,50	SC	SM	CL	SC	SM	SW-SM	SC-SM	CL
12,00	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
13,50	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL
15,00	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL	CL

4.İNCELEME ALANI SIVILAŞMA DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY 2018) esas alınarak, moment büyüklüğü 5 ile 8 arasında değişen depremler için sıvılaşma potansiyeli analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler, her bir sondaj logu için ayrı ayrı değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 3 ile Tablo 10 arasında sunulmuştur.

Killi zeminlerde, literatür ve mühendislik kabulleri doğrultusunda sıvılaşma potansiyelinin düşük olduğu kabul edilmiş ve bu tür zeminler için sıvılaşma riski bulunmadığı belirtilmiştir. Kum ve silt karışımı zeminlerde ise, yapılan analizler sonucunda elde edilen sıvılaşma güvenlik sayıları (Fs) ilgili tablolarda verilmiştir. Sıvılaşma riski taşıyan zeminler kırmızı renkle işaretlenerek görsel olarak vurgulanmıştır. Ayrıca sıvılaşma analizine gerek duyulmayan killi zeminler tablolarda "-" işareti ile gösterilmiştir.

Tablo 3. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-1 için

SK-1							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-
6,0	**1,21**	**0,95**	**0,76**	**0,62**	**0,51**	**0,43**	**0,36**
7,5	**3,58**	**2,81**	**2,25**	**1,83**	**1,51**	**1,27**	**1,08**
9,0	**2,82**	**2,21**	**1,77**	**1,44**	**1,19**	**1,00**	**0,85**
10,5	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 4. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-2 için

SK-2							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-
6,0	**1,65**	**1,29**	**1,04**	**0,84**	**0,70**	**0,58**	**0,50**
7,5	**1,16**	**0,91**	**0,73**	**0,59**	**0,49**	**0,41**	**0,35**
9,0	**1,94**	**1,52**	**1,22**	**0,99**	**0,82**	**0,69**	**0,58**
10,5	**3,00**	**2,35**	**1,88**	**1,53**	**1,27**	**1,06**	**0,90**
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 5. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-3 için

SK-3							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	**2,77**	**2,17**	**1,74**	**1,41**	**1,17**	**0,98**	**0,83**
6,0	**3,26**	**2,56**	**2,05**	**1,67**	**1,38**	**1,16**	**0,98**
7,5	**2,82**	**2,21**	**1,77**	**1,44**	**1,19**	**1,00**	**0,85**
9,0	**2,60**	**2,03**	**1,63**	**1,33**	**1,10**	**0,92**	**0,78**
10,5	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 6. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-4 için

SK-4							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-
6,0	**1,76**	**1,38**	**1,11**	**0,90**	**0,75**	**0,62**	**0,53**
7,5	**1,07**	**0,84**	**0,67**	**0,55**	**0,45**	**0,38**	**0,32**
9,0	-	-	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 7. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-5 için

SK-5							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-
6,0	**1,13**	**0,89**	**0,71**	**0,58**	**0,48**	**0,40**	**0,34**
7,5	**1,53**	**1,20**	**0,96**	**0,78**	**0,65**	**0,54**	**0,46**
9,0	**0,73**	**0,57**	**0,46**	**0,37**	**0,31**	**0,26**	**0,22**
10,5	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 8. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-6 için

SK-6							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-
6,0	**1,13**	**0,89**	**0,71**	**0,58**	**0,48**	**0,40**	**0,34**
7,5	**0,91**	**0,71**	**0,57**	**0,46**	**0,38**	**0,32**	**0,27**
9,0	**2,77**	**2,17**	**1,74**	**1,42**	**1,17**	**0,98**	**0,83**
10,5	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 9. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-7 için

SK-7							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-
6,0	**1,04**	**0,81**	**0,65**	**0,53**	**0,44**	**0,37**	**0,31**
7,5	**2,82**	**2,21**	**1,77**	**1,44**	**1,19**	**1,00**	**0,85**
9,0	-	-	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 10. TBDY 2018'e göre yapılan sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen değerler SK-8 için

SK-8							
Derinlik (m)	Mw=5.0	Mw=5.5	Mw=6.0	Mw=6.5	Mw=7.0	Mw=7.5	Mw=8.0
1,5	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4,5	-	-	-	-	-	-	-
6,0	**1,23**	**0,97**	**0,77**	**0,63**	**0,52**	**0,44**	**0,37**
7,5	**0,99**	**0,78**	**0,62**	**0,51**	**0,42**	**0,35**	**0,30**
9,0	-	-	-	-	-	-	-
10,5	-	-	-	-	-	-	-
12,0	-	-	-	-	-	-	-
13,5	-	-	-	-	-	-	-
15,0	-	-	-	-	-	-	-

Tabloların incelenmesi sonucunda, deprem moment büyüklüğünün artmasıyla birlikte sıvılaşma güvenlik sayılarında azalma gözlenmiş ve buna bağlı olarak sıvılaşma riskinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, zemin davranışının deprem şiddetine duyarlılığını ve moment büyüklüğünün sıvılaşma potansiyeli üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.

5.SONUÇ

Bu çalışmada, zeminlerin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek amacıyla SPT verileri kullanılmış ve TBDY (2018)'de tanımlanan Basitleştirilmiş Prosedür yöntemi esas alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. SPT verilerine dayalı bu yöntem, hem ekonomik hem de mühendislik uygulamalarında güvenilirliği yüksek bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte, yöntemin doğruluk derecesi; elde edilen verilerin kalitesi, zemin profilinin mühendislik özellikleri ve sismik parametrelerin temsil gücüne doğrudan bağlıdır.

Analizler, her bir sondaj noktasında ayrı ayrı yürütülmüş olup, özellikle kumlu ve siltli zemin birimlerinde sıvılaşma potansiyeli detaylı biçimde incelenmiştir. Killi zeminlerde ise literatür bilgileri ve mühendislik kabulleri doğrultusunda sıvılaşma potansiyelinin oldukça düşük olduğu kabul edilmiş ve bu nedenle sıvılaşma riski bulunmadığı değerlendirilmiştir.

Kum ve silt karışımı zeminler için hesaplanan sıvılaşma güvenlik sayıları (Fs), ilgili tablolarda sunulmuştur. Kritik güvenlik sayısının altına düşen ($Fs < 1.10$) zemin tabakaları sıvılaşma riski taşıyan birimler olarak değerlendirilmiş ve tablolar üzerinde kırmızı renk ile vurgulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, deprem moment büyüklüğündeki artışın sıvılaşma potansiyelini doğrudan artırdığını göstermektedir. Bu durum, zeminin sismik yüklemelere duyarlılığını ve deprem büyüklüğünün sıvılaşma üzerindeki belirleyici etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

1.Erener, A., Aşcı, M., Gülsoy, G., Üstün, A., Güvenaltın, M., Şentürk, E., ... & Öye, S. (2022). İzmit Körfezi ve çevresinde bina yoğunluk ve sıvılaşma yayılımının mekânsal analizi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 8(1), 111-121.

2.Doğan, O., & Kalaylı, M. A. (2024). 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarı Şehir Merkezinde Devrilen Binaların Devrilmeye Karşı Optimum Yükseklik/Genişlik Oranının Belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 27(1), 59-68.

3.Gökdoğan, A. N. T., Işık, N. S., & Fırat, S. (2024). 6 Şubat Kahramanmaraş Depremlerinde Zemin Davranışları: Vaka Analizi. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, 3(1), 48-57.

4.Kırıcı, S., & Soyluk, A. (2024). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinde Meydana Gelen Yapı Hasar Türleri ve Yapı Yıkım Çeşitlerinin Saha Analizlerinin Değerlendirilmesi. Journal of Architectural Sciences and Applications, 9(Special Issue), 327-352.

5.Doğan, A. C., Çiftçi, B., Gören, N. G., Yıldırım, N. S., Şahin, G., & KOÇKAR, M. K. Kahramanmaraş Türkoğlu İlçesinde Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirmeleri.

6.Andrus, R.D. & Stokoe II, K.H. (2000). Liquefaction Resistance of Soils from Shear-Wave Velocity. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, (ASCE) 126, 1015-1025.

7.Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 97(SM9), 1249- 1273.

8.Iwasaki, T., Arakawa, T., and Tokida, K. 1982. Simplified procedures for assessing soil liquefaction during earthquakes. Proceedings of the Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Southampton, UK, 925−939.

9.Sonmez, H. Gokçeoglu, C. 2005, A liquefaction severity index suggested for engineering practice, Environmental Geology, 48(1), 81 – 91.

10. Youd, T. L., Idriss I. M., Andrus R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dob-, R., Liam Finn, W. D., Harder Jr, L. F., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Liao, S. S. C., Marcuson III W. F., Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B., & Stokoe II, K. H. (2001). Liquefaction resistance of soils: summa- report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE,127 (10), 817-833.

11. Cappellaro, C., Dhakal, R., & Cubrinovski, M. (2024). Liquefaction hazard of Wellington reclamations based on conventional analysis. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, 57(2), 97-116.

12. Asadi, M. B., Orense, R. P., Asadi, M. S., & Pender, M. J. (2022). A unified approach to link small-strain shear modulus and liquefaction resistance of pumiceous sand. Soils and Foundations, 62(1), 101098.

13. Arsyad, A., Amaliyah, A. A. N., Paerong, S., & Djamaluddin, A. R. (2022). Liquefaction Potential Assessment for the City of Mamuju Sulawesi by using N-SPT based methods. Indonesian Geotechnical Journal, 1(3), 37-55.

14. Muley, P., Maheshwari, B. K., & Kirar, B. (2022). Liquefaction potential of sites in Roorkee Region using SPT-Based methods. International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering, 8(2), 26.

15. Wang, J. S., Hwang, J. H., Deng, Y. C., & Lu, C. C. (2023). Model uncertainties of SPT, CPT, and VS-based simplified methods for soil liquefaction assessment. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 82(7), 260.

16. Kumar, D. R., Samui, P., & Burman, A. (2023). Suitability assessment of the best liquefaction analysis procedure based on SPT data. Multiscale and Multidisciplina-Modeling, Experiments and Design, 6(2), 319-329.

17. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY). (2018). T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

INVESTIGATION OF THE REFLECTION PROPERTIES OF TE-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES FROM MULTILAYER DIELECTRIC FILMS

Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu
Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical-Electronics Engineering, Manisa, Türkiye,
fadil.kuyucuoglu@cbu.edu.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0134-0491

ABSTRACT

This study examined the reflection behavior of TE (transverse electric) polarized electromagnetic waves incident on structures composed of multilayer films made of lossless dielectric layers. The frequency-dependent variations of reflectance for waves at normal and oblique incidence angles were analyzed in detail for different angles. The results showed that reflectance approached zero at certain frequencies, while reaching maximum levels at others. Additionally, the effects of changes in film thickness on reflectance were examined, with reflectance variations—especially at oblique incidence angles—illustrated through graphs. Initially, reflectance curves for a single-layer film were plotted under different incidence angles. Minimum reflectance values were obtained at specific frequencies under normal incidence, whereas an increase in reflectance was observed with increasing incidence angle. Subsequently, reflectance values were calculated based on changes in the thickness of an air layer inserted between two dielectric layers. In conclusion, the reflection performance of thin film layers was comprehensively analyzed, and the findings were presented with graphical support.

Keywords: Multilayer, Te-polarized electromagnetic wave, Reflectance

1. INTRODUCTION

The analysis of electromagnetic wave reflection from multilayer structures is a popular topic in the literature. It is particularly important in renewable energy applications [1], graphene based absorbers [2], metamaterial for terahertz applications [3], energy harvesting applications [4], electromagnetic shielding devices [5] and radome devices [6].

In this study, a TE-polarized plane electromagnetic wave incident on a lossless medium is reflected and refracted as it propagates through a multilayer lossless dielectric layers. The reflection and refraction angles within each layer are determined using Snell's law. In order to calculate the overall reflection from multilayer structures, the matrix method is utilized, enabling the analytical derivation of reflection coefficients.

In these calculations, angle of incidence, the thickness of each layer, and the refractive indices of the materials determine the behavior of the reflectance. This study examines how reflectance varies with these parameters, and the corresponding results are demonstrated.

2. MATERIALS AND METHODS

In Figure 1, it is shown that a TE polarized uniform plane wave is incident on a multilayer film geometry.

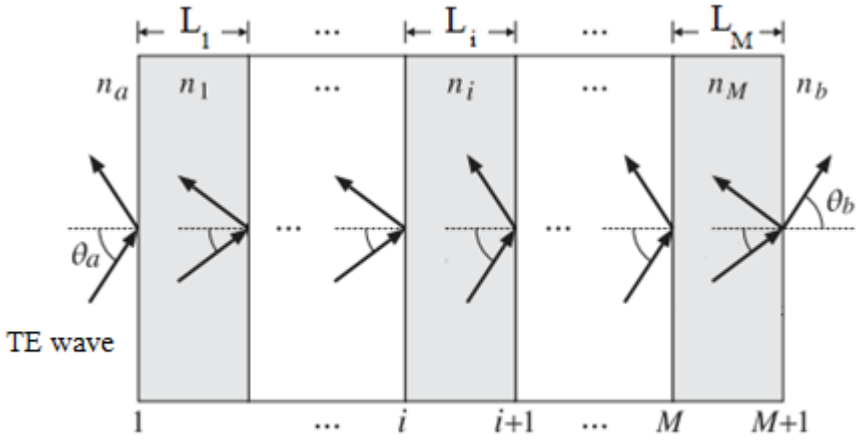


Figure 1 Problem Geometry

Here, the wave incident at an angle θ_a undergoes reflection and refraction in accordance with Snell's law in i'th layer.

$$n_a \sin\theta_a = n_i \sin\theta_i \qquad (1)$$

Accordingly, the reflection and refraction angles in each layer are determined. Subsequently, the total reflection is calculated using the matrix method.

3. RESULTS

First, the variation in reflectance is examined for different incidence angles in a single layer with a refractive index of 2 and a thickness equal to half the wavelength. Figure 2 illustrates how the reflectance changes with normalized frequency.

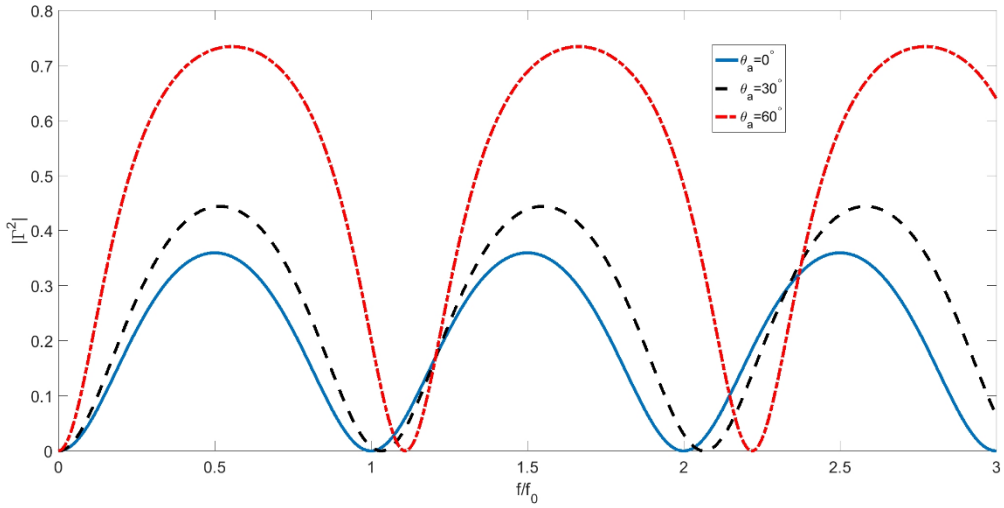


Figure 2 Reflectance versus normalized frequency when half wavelength slab is used

First, the reflection at normal incidence was analyzed. As observed, the lowest reflectance values occurred at normal incidence. When the incidence angle was increased to 30°, the reflectance levels rose, and the frequency at which the reflectance dropped to zero shifted. Similarly, for an incidence angle of 60°, the reflectance increased even further, and the zero-reflectance frequency shifted to a higher value.

In another graph, shown in Figure 3, the variation of reflectance is illustrated as a function of the air gap thickness for a wave incident from a medium with a refractive index of 2, passing through air (with a refractive index of $n = 1$), and then entering another medium with a refractive index of 2.

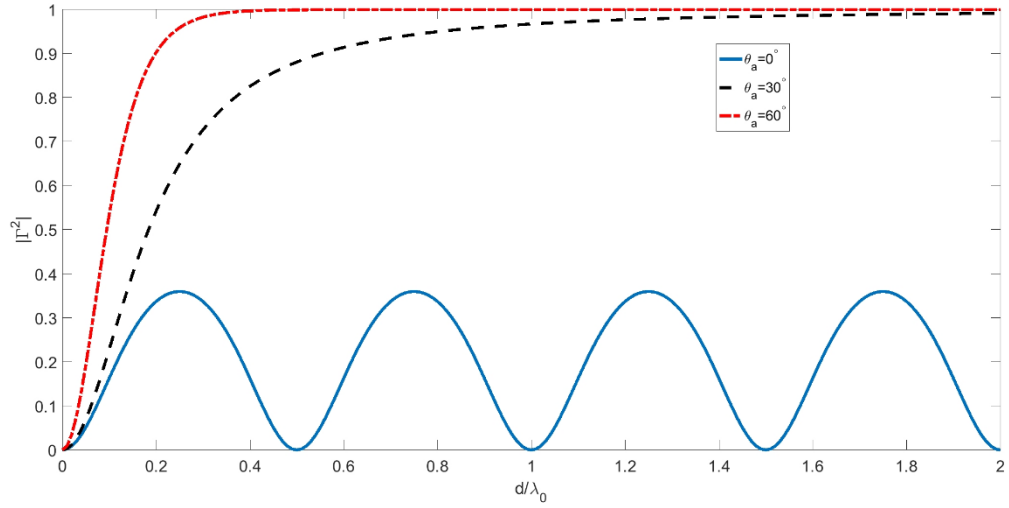


Figure 3 Reflectance versus normalized slab length for various incidence angles at design frequency (n_a=2, n_1=1,n_b=2)

As shown in Figure 3, for normal incidence, the reflectance exhibits periodic behavior, repeating every 0.5 wavelength. When the incidence angle is increased to 30°, the reflectance tends to increase rapidly and converges to a certain level. For an incidence angle of 60°, the reflectance rapidly converges to a value close to 1.

Finally, reflectance was analyzed for a three-layer structure with varying refractive indices of n_a=1, n_1=2, n_b=3 when the slab length (L_1) is 0.1λ. The corresponding results are presented in Figure 4.

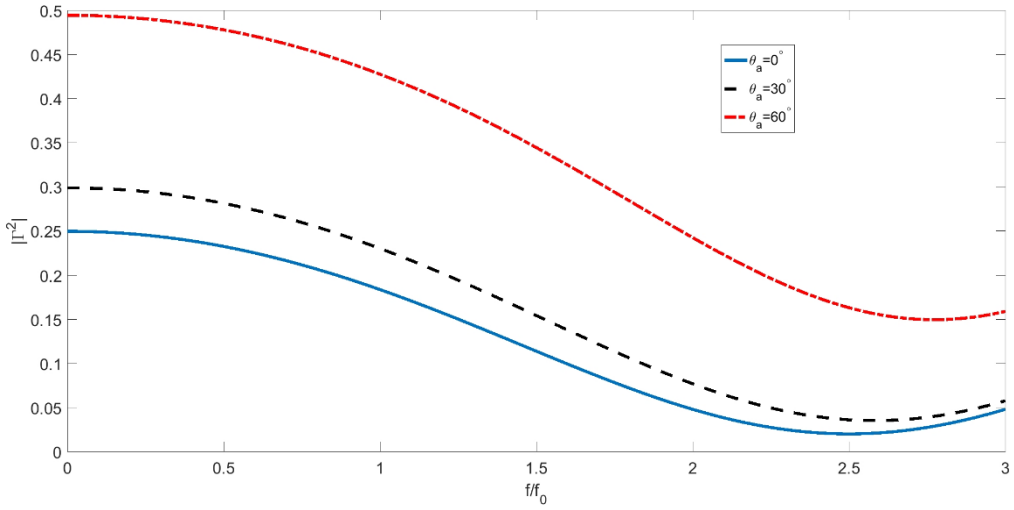


Figure 4 Reflectance versus normalized frequency for various incidence angles when choosing 0.1λ slab length (n_a=1, n_1=2,n_b=3)

As illustrated in Figure 4, low reflectance values are observed at normal incidence. When the incidence angle is increased to 30°, the reflectance level increases. At an incidence angle of 60°, the reflectance increases significantly, resulting in very high reflectance levels.

4. CONCLUSIONS

In conclusion, this study examined the reflectance of a TE-polarized plane electromagnetic wave incident on multilayer lossless dielectric structures. The reflectance behavior was analyzed with respect to varying incidence angles, layer thicknesses, and refractive indices. In future work, lossy dielectrics and metamaterials can be utilized for the design and development of advanced devices.

REFERENCES

1. Patel, Hetvi, Abdullah Baz, and Shobhit K. Patel. "Design and analysis of a machine learning-optimized multi-layered absorber for renewable energy applications." *Measurement* 239 (2025): 115413.

2. Alsharari, Meshari, et al. "Graphene-based metasurface solar absorber using Fe–Fe2O3–Ti multilayer structure." *Optical and Quantum Electronics* 56.12 (2024): 1914.

3. Ramachandran, Tayaallen, Mohammad Rashed Iqbal Faruque, and K. S. Al-Mugren. "Low thermal SRR metamaterial design with multi-layered structured for terahertz frequency applications." *Results in Engineering* 21 (2024): 101753.

4. Yu, Yaru, et al. "A self-powered piezoelectric Poly (vinyl alcohol)/Polyvinylidene fluoride fiber membrane with alternating multilayer porous structure for energy harvesting and wearable sensors." *Composites Science and Technology* 247 (2024): 110429.

5. Sun, Hongbiao, et al. "Thin and flexible multilayer carbon/silicon carbide composite films with extraordinary electromagnetic shielding performance and ablative resistance." *Carbon* 230 (2024): 119660.

6. Yang, Jiaheng, et al. "Design, modelling, and manufacturing of sandwich radome structure with out-of-band absorption and in-band transmission performances." *Composite Structures* 339 (2024): 118138.

ANALYSIS OF THE REFLECTION PROPERTIES OF TM-POLARIZED ELECTROMAGNETIC WAVES FROM MULTILAYER DIELECTRIC FILMS

Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu
Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical-Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
fadil.kuyucuoglu@cbu.edu.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0134-0491

Asst. Prof. Dr. Ismail Irmakci
Ege University, Faculty of Computer and Informatics Engineering, Department of Computer Engineering, Izmir, Türkiye
ismail.irmakci@ege.edu.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3277-2710

ABSTRACT

In this study, the reflection characteristics of TM-polarized (transverse magnetic) electromagnetic waves on film structures composed of multilayer dielectric materials were investigated. The frequency-dependent variation of reflectance was analyzed for both normal and oblique incidence. The analyses showed that reflectance values approached zero at certain frequencies. Reflection behaviors were thoroughly evaluated through graphs obtained for film structures with different dielectric constants. Additionally, changes in reflectance depending on the thickness of the film layer were examined, and reflection variations, especially under oblique incidence, were illustrated with graphs. Initially, a single-layer film structure was considered, and reflectance variations were plotted for different angles of incidence. While minimum reflectance was achieved at normal incidence, reflectance increased with increasing incidence angle. Subsequently, an air layer was introduced between two dielectric layers, and reflectance values were calculated depending on the thickness of the air layer expressed in terms of wavelength. It was found that when the air layer reached several wavelengths in thickness, the reflectance approached unity. In conclusion, the reflection properties of thin film layers were analyzed in detail, and the results were presented graphically.

Keywords: Multilayer film, TM-polarized electromagnetic wave, Reflectance

1. INTRODUCTION

The investigation of electromagnetic wave reflection from multilayer structures is a popular topic. It is particularly important in achieving anti-reflection coatings in solar cells [1]. In addition, in recent years, metamaterials and graphene structures have also been used in multilayer films instead of lossless dielectrics to obtain electromagnetic interference shielding [2] and absorbers [3]. Various shielding applications using composite structures can also be found in the literature [4]. Reflection is also studied in on Thue-Morse dielectric multilayers [5].

In this study, a TM-polarized plane electromagnetic wave incident on lossless media undergoes reflection and refraction as it passes through lossless dielectric layers. The angles of reflection and refraction in each layer are determined by Snell's law. To obtain the overall reflection expression in multilayer structures, the matrix method is employed [6], which allows for the derivation of reflection expressions.

In these expressions, the angle of incidence, the thickness of the layers, and the refractive indices are important parameters. In this study, the reflectance phenomenon is analyzed under different incidence angles, different layer thicknesses, and varying refractive indices, and the results are presented.

2. MATERIALS AND METHODS

IFirstly, we consider a TM-polarized wave is incident at an oblique angle on a multilayer geometry. The problem geometry is shown in Figure 1.

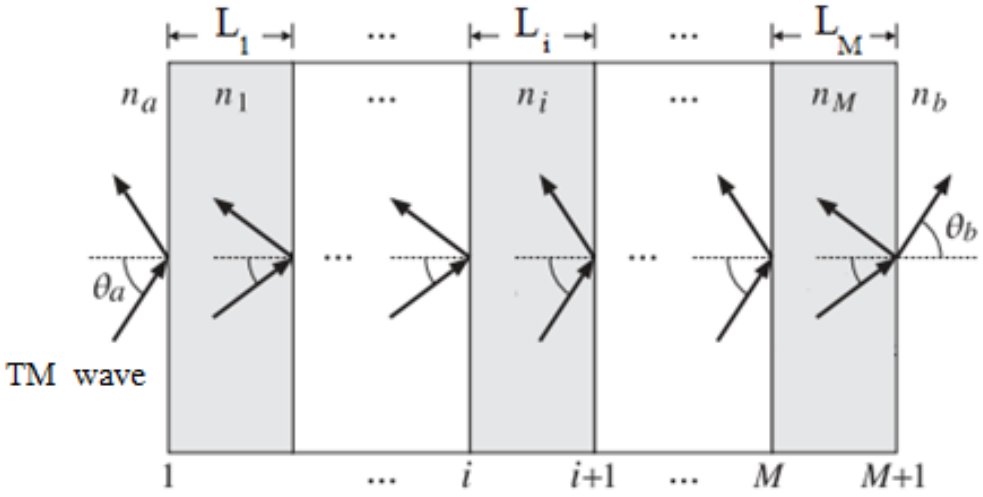


Figure 2 Problem Geometry

Here, the incoming wave is incident at an angle θ_a is reflected and refracted according to Snell's law as in Eq [1].

$$n_a \sin\theta_a = n_i \sin\theta_i = n_b \sin\theta_b \qquad (1)$$

Thus, the reflection and refraction angles in each layer are determined. Then, the total reflection expressions are obtained by applying the matrix method.

3. RESULTS

Firstly, let us examine the variation of reflection for different incidence angles in a layer with a refractive index of 2 and a thickness of half the wavelength. Figure 2 shows the variation of reflectance with respect to the normalized frequency.

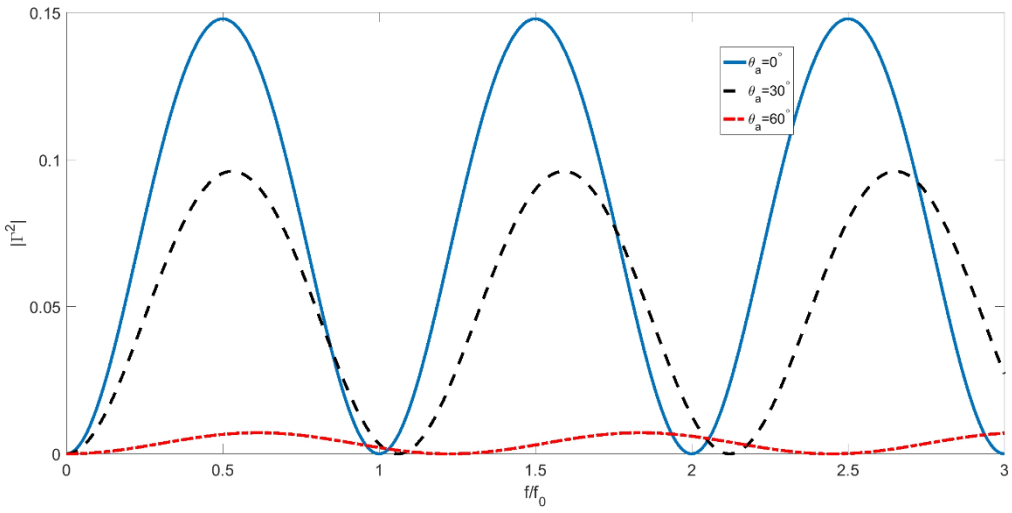


Figure 2 Reflectance versus normalized frequency for half wavelength slab

Firstly, the reflectance for normal incidence was studied. As it can be seen, the highest reflectance values were obtained at normal incidence. When the incidence angle was increased to 30°, the reflectance levels decreased, and the frequency at which reflection dropped to zero shifted. Similarly, for an incidence angle of 60°, the reflectance level decreased more, and the frequency at which reflectance reached zero increased.

In the next graph, as shown in Figure 3, the variation of reflectance is presented with respect to the thickness of the air gap for a wave incident from a medium with a refractive index of 2 into air (with refractive index n = 1), and then to a medium with a refractive index of 2.

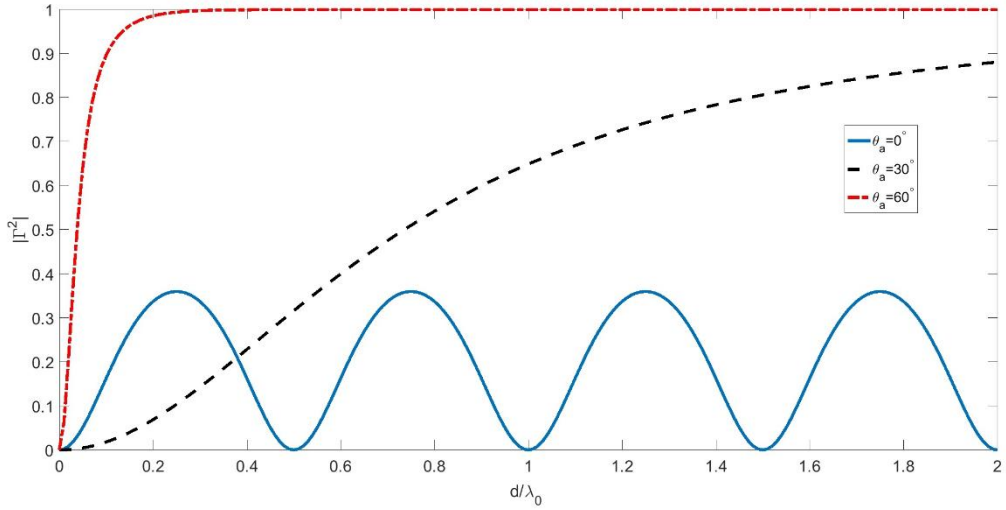


Figure 3 Reflectance versus normalized slab length for various incidence angles at design frequency (n_a=2, n_1=1,n_b=2)

As seen in Figure 3, for normal incidence, the reflectance repeats itself every 0.5 wavelength. When the incidence angle is set to 30°, the reflectance is observed to converge to a certain level. For an incidence angle of 60°, the reflectance value quickly converges to 1.

Finally, the reflectance variations were demonstrated for a three-layer structure with different refractive indices (n_a=1, n_1=2,n_b=3) when slab length L_1 is 0.1λ. The results are shown in Figure 4.

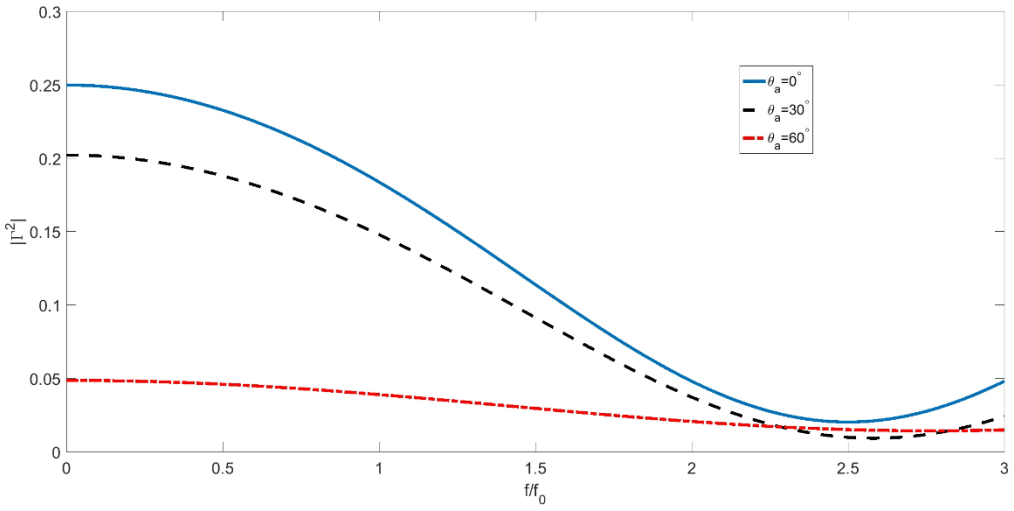


Figure 4 Reflectance versus normalized frequency for various incidence angles for 0.1λ slab length (n_a=1, n_1=2,n_b=3)

As shown in Figure 4, high reflectance values are obtained for normal incidence, while the reflectance level decreases when the incidence angle is 30°. When the incidence angle is increased to 60°, very low reflectance levels are observed.

4. CONCLUSIONS

In conclusion, this study investigated the reflectance of a TM-polarized plane electromagnetic wave incident on multilayer dielectric structures. The reflectance behavior was studied with different incidence angles, layer thicknesses, and refractive indices values.

REFERENCES

1. Chenghao, Zhan, et al. "New multilayer film photonic crystal grating multilayer anti-reflection layer for visible-near-infrared solar cells." Engineering Research Express 6.1 (2024): 015019.

2. Wang, Lujie, Dingfeng Xu, and Jinping Zhou. "Multilayer composite films with enhanced electromagnetic interference shielding and thermal management properties based on bamboo cellulose nanofibers." Carbohydrate Polymers (2025): 123309.

3. Chen, Hao, et al. "Ultra-wideband microwave absorber based on multilayer patterned resistive film." Materials Research Bulletin 176 (2024): 112794.

4. Mansoori, Mariam, Shaohong Luo, and Daniel Choi. "Fabrication and characterization of the flexible three-layered thin film composites based on MXene/Fe3O4/MWCNT for electromagnetic shielding applications." Composites Part C: Open Access (2025): 100562.

5. Qiu, F., et al. "Omnidirectional reflection of electromagnetic waves on Thue-Morse dielectric multilayers." Europhysics Letters 68.5 (2004): 658.

6. Zhang, Y., Feng, N., Wang, G. P., & Zheng, H. (2020). Reflection and transmission coefficients in multilayered fully anisotropic media solved by transfer matrix method with plane waves for predicting energy transmission course. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 69(8), 4727-4736.

A CLUTTER-FREE MONOSTATIC ISAC MODEL: POWER EFFICIENCY AND TRADE-OFF BETWEEN SENSING AND COMMUNICATION

MSc. Student Bilal TOUAHAR
Duzce University
bilal.touahar@gmail.com, 0009-0000-6703-7092

Assoc. Prof. Dr. Selman KULAÇ
Duzce University
selmankulac@duzce.edu.tr, 0000-0002-7737-1569

ABSTRACT

The convergence of sensing and communication functionalities is widely recognized as a hallmark of future mobile networks, forming the foundation of Integrated Sensing and Communication (ISAC) systems. In this study, we analyze a downlink monostatic ISAC system where all transceivers are equipped with a single antenna, and the environment is assumed to be free of clutter. The system is designed to simultaneously serve a communication user and perform target sensing, independently of the waveform design. Drawing on existing theoretical models[1], we obtain analytical results for false alarm probabilities (PFA) under varying base station power and probability of detection (PD) levels. Unlike prior works focusing on bistatic ISAC models, this work emphasizes the performance trade-offs in monostatic configurations. We focus a power allocation problem with the objective of minimizing the total transmit power while satisfying both sensing reliability (in terms of PD) and communication quality of service (in terms of achievable rate).

Keywords : Integrated Sensing and Communication (ISAC), monostatic system, power allocation, performance trade-off, probability of detection (PD), probability of false alarm (PFA).

1. INTRODUCTION

Integrated Sensing and Communication (ISAC) systems are envisioned as a key technology for 6G networks, enabling the joint use of communication and sensing functionalities within a shared hardware and spectral framework. This convergence not only improves spectral efficiency but also reduces deployment costs by allowing both functions to coexist seamlessly

[1]"This work builds upon the theoretical foundation of ISAC trade-off analysis as explored in [An et al., IEEE Trans. Wireless Commun., 2023], with a focus on simplified monostatic systems that allow for tractable and insightful analysis."

[1]. The integrated design is particularly crucial in dense and dynamic environments where spectrum is a scarce resource.

A significant body of prior work has addressed various ISAC architectures, including bistatic and monostatic configurations. Bistatic setups, while offering flexibility in deployment, introduce synchronization and coordination challenges [2]. In contrast, monostatic ISAC systems, where a single node performs both transmitting and receiving, provide hardware simplicity and ease of implementation, making them suitable for compact and low-power applications.

Power efficiency in ISAC systems remains a critical design consideration, as the dual objectives of reliable sensing and high-rate communication often compete for limited resources. Recent research has proposed optimization strategies for power allocation between sensing and communication to balance these conflicting requirements [3]. Such strategies are essential to ensure both energy-efficient operation and performance guarantees.

The trade-off between achievable rate and sensing reliability is a fundamental constraint in ISAC systems. Analytical studies have established bounds and trade-off curves that highlight the challenges of simultaneously optimizing these metrics [4]. Accurate modeling of this trade-off is vital for the design of practical systems capable of adapting to varying operational conditions.

In many ISAC designs, the use of superimposed waveforms has been proposed to maximize spectral efficiency, enabling communication and sensing signals to share the same time-frequency resources [4]. This approach, however, necessitates advanced receiver processing techniques, such as successive interference cancellation, to separate the signals effectively and minimize cross-interference.

This paper builds upon these foundations by getting explicit results for the probability of false alarm (*PFA*) as a function of base station power and probability of detection (*PD*) levels in a monostatic ISAC setup. While prior studies have largely focused on the achievable rate vs. detection probability trade-off, the explicit analytical characterization of *PFA* under variable power and PD constraints provides a novel contribution. This analysis offers valuable insights for power-efficient ISAC system design under stringent sensing performance requirements.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 describes the system model and problem formulation. Section 3 presents our analytical derivations of *PFA* expressions and discusses the power allocation framework and optimization results. Finally, Section 5 concludes the paper with key findings and future research directions.

2. SYSTEM MODEL

This work considers a general monostatic Integrated Sensing and Communication (ISAC) design as in Figure 1. This approach differs from many conventional hybrid radar & communication systems that typically rely on orthogonal resource blocks (such as time, frequency, or beam) to schedule simultaneous radar and communication transmissions. In this ISAC model, the sensing and communication waveforms are instead superimposed onto the same time-frequency resources.

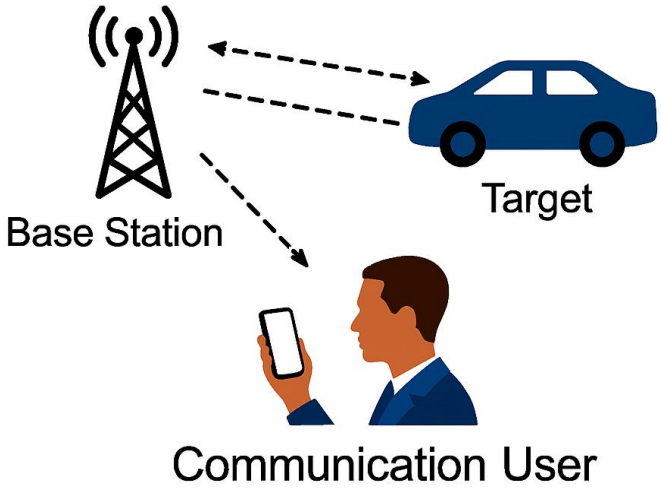


Figure 1. Monostatic ISAC system model

Accordingly, the total normalized downlink signal transmitted by the ISAC-BS (or transmitter) at a given moment t is represented as follows [4]:

$$s(t) = \sqrt{\rho_s} s_s(t) + \sqrt{\rho_c} s_c(t) \tag{1}$$

Here, $s_s(t)$ represents the sensing signal, while $s_c(t)$ is the communication signal. The terms ρ_s and ρ_c are the power allocation coefficients that determine how the total power is shared, and they must satisfy the following condition [4]:

$$\rho_s + \rho_c = 1 \tag{2}$$

It is assumed that both $s_s(t)$ and $s_c(t)$ are statistically independent of each other and are normalized, such that $\mathbb{E}\left(|s_s(t)|^2\right) = \mathbb{E}\left(|s_c(t)|^2\right) = 1$. The signal received by the communication user (CU) is expressed as in [4]:

$$r_c(t) = h_c \sqrt{P} s(t) + n_c(t) \tag{3}$$

In this equation, h_c is the channel coefficient, P is the total transmission power from the ISAC-BS or transmitter, and $n_c(t) \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_c^2)$ is modeled as Additive White Gaussian Noise (AWGN), with σ_c^2 representing the noise power at the CU's receiver. It has been assumed that any signal reflected from the target towards the CU is weak enough compared to the direct path signal from the BS (or transmitter) to be considered negligible. The echo signal received by the ISAC-BS (sensing receiver - SR) is modeled as follows as in [4]:

$$r_s(t) = h_s \sqrt{P} s(t - \tau) e^{j2\pi f_d t} + n_s(t) \tag{4}$$

Here, h_s denotes the composite channel coefficient for the BS (or transmitter)-target-BS (SR) path, while τ represents the time delay and f_d represents the Doppler shift. The term

$n_s(t) \sim \mathcal{CN}(0, \sigma_s^2)$ is modeled as AWGN, and σ_s^2 represents the receiver sensitivity at the SR [4].

2.1. Sensing-Free Communication

It is assumed that the sensing signal $s_s(t)$, specified by the protocol, is known a priori at the Communication User (CU). Consequently, nearly all components of the sensing signal can be eliminated at the CU using Successive Interference Cancellation (SIC) techniques, allowing the application of a classical Rayleigh-fading channel communication model [4]:

The instantaneous achievable rate at the CU, expressed in bits per second per Hertz (b/s/Hz), can be derived as follows as in [4]:

$$R = \log_2 \left(1 + \frac{\rho_c P |h_c|^2}{\sigma_c^2} \right) \tag{5}$$

2.2. Communication-Assisted Sensing

In the monostatic ISAC system illustrated in Figure 1, the communication signal $s_c(t)$ is inherently known at the ISAC-BS, as the transmitted and reflected signals are assumed identical. One practical method for improving detection accuracy is to recover the communication signal component from the sensing receiver's input before proceeding with target detection. However, this process may introduce self-interference issues [4]:

For the scenario where the channel coefficient h_s is known at the BS (SR), the Probability of False Alarm (*PFA*) and Probability of Detection (*PD*) are given by [4]:

$$P_{\text{FA}} \overset{T \gg 1}{\simeq} Q \left(\frac{\sigma_s^2 \kappa + PT |h_s|^2}{\sqrt{2PT} \sigma_s |h_s|} \right) \tag{6}$$

$$P_{\text{D}} \overset{T \gg 1}{\simeq} Q \left(\frac{\sigma_s^2 \kappa - PT |h_s|^2}{\sqrt{2PT} \sigma_s |h_s|} \right) \tag{7}$$

2.3. Power Efficiency and the Sensing-Communication Trade-off

As referenced in prior work [4], our objective is to minimize the total power consumption *P* by optimizing the power allocation ratios between sensing and communication. This involves:

- Maximizing the achievable rate *R* for communication performance.
- Achieving high *PD* and low *PFA* for sensing performance.

Power Allocation for Communication

When prioritizing communication performance, the transmit power can be derived from Equation (5) as in [4]:

$$P = \frac{\sigma_c^2}{|h_c|^2}\left(2^{R_{\min}} - 1\right) \tag{8}$$

Power Allocation for Sensing

For enhanced sensing performance, the transmit power is derived from Equations (6) and (7) as in [4]:

$$P = \frac{\sigma_s^2}{2T|h_s|^2}\left[Q^{-1}\left(P_{\mathrm{FA},\delta}\right) - Q^{-1}\left(P_{\mathrm{D},\min}\right)\right]^2 \tag{9}$$

Optimal Power Allocation

The total power P must satisfy both sensing and communication requirements. Thus, the minimum required power is as in [4]:

$$P_{\min} = \max\left(\frac{\sigma_s^2}{2T|h_s|^2}\left[Q^{-1}\left(P_{\mathrm{FA},\delta}\right) - Q^{-1}\left(P_{\mathrm{D},\min}\right)\right]^2, \frac{\sigma_c^2}{|h_c|^2}\left(2^{R_{\min}} - 1\right)\right) \tag{10}$$

3. NUMERICAL RESULTS

Case 1: For P = 16.6 dBm and PD = 0.95, we compute κ = 8.18 using Equation (7). Substituting these into Equation (6) yields $PFA = 6 \times 10^{-6}$ (see Figure 2).

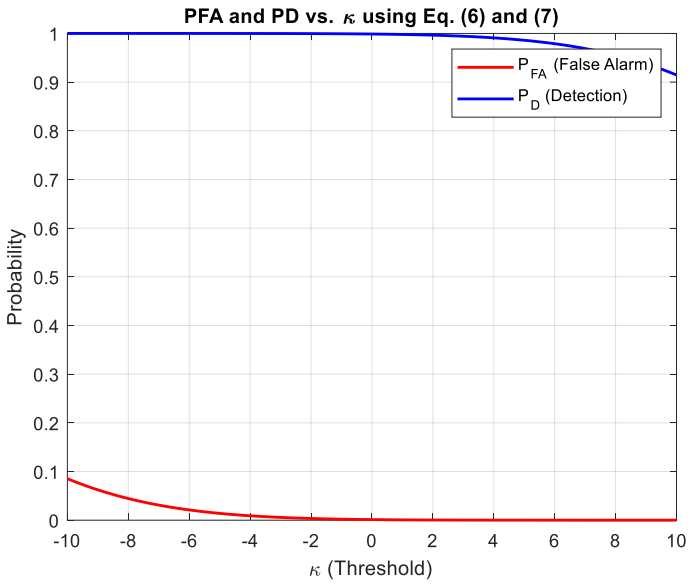


Figure 2. PFA vs. PD for P = 16.6 dBm.

Case 2: For P = 13.6 dBm and PD = 0.65, we compute κ = 7.57 using Equation (7). Substituting these into Equation (6) yields $PFA = 4 \times 10^{-5}$ (see Figure 3).

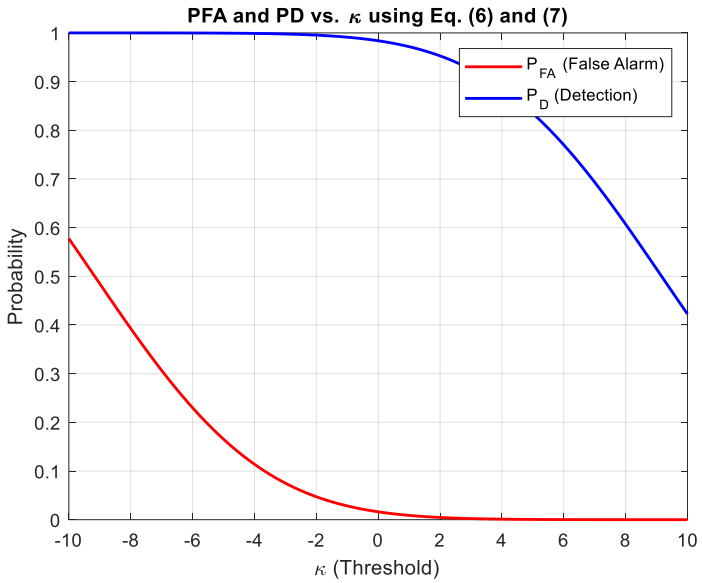


Figure 3. PFA vs. PD for P = 13.6 dBm.

Case 3: For P = 10.6 dBm and PD = 0.35, we compute κ = 5.75 using Equation (7). Substituting these into Equation (6) yields $PFA = 3 \times 10^{-4}$ (see Figure 4).

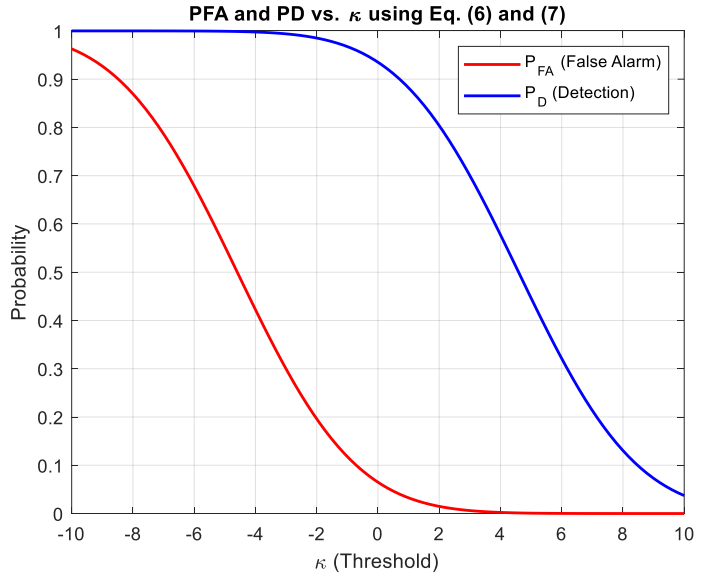


Figure 4. PFA vs. PD for P = 10.6 dBm.

Achievable Rate vs. Power Allocation

As shown in Figure 5, the achievable rate R increases with the power allocation ratio ρ_c (0 to 1). For PD = 0.65, the maximum achievable rate is attained at the optimal power level of 13.6 dBm, consistent with theoretical predictions in [4].

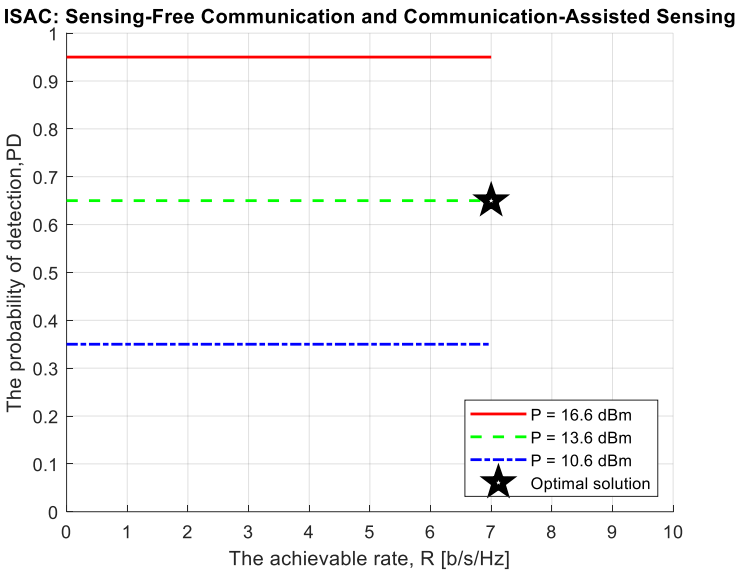


Figure 5. Achievable rate R as a function of ρ_c.

Key Observations:

1. The framework ensures a balance between sensing and communication performance.
2. The *PFA* remains below 0.01 for all cases, validating the system's reliability.
3. Allocating power optimally — for instance, by fully prioritizing communication — can maximize throughput while still meeting the necessary sensing requirements.

4. CONCLUSIONS

This paper presents a clutter-free monostatic ISAC system model, focusing on obtaininig of analytical results for probability of false alarm (*PFA*) under varying base station power and probability of detection (*PD*) levels. The obtained results provide a means to accurately predict the sensing reliability of the system as power allocation strategies are adjusted. Numerical results validated the theoretical analysis and demonstrated how optimal power allocation can minimize total transmit power while satisfying both communication and sensing requirements.

The proposed framework enhances the understanding of the power-sensing trade-off in monostatic ISAC systems and provides a foundation for future studies that will extend this work to more complex scenarios involving clutter, multipath, or multi-antenna configurations.

REFERENCES

[1] Liu, F., Cui, Y., Masouros, C., Xu, J., Wang, T., & Hanzo, L. (2020). Integrated sensing and communications: Towards dual-functional wireless networks for 6G and beyond. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(11), 1717–1765.

[2] Paul, B., Guey, J. C., & Haimovich, A. M. (2017). A survey of RF communications and sensing convergence research. *IEEE Access*, 5, 25270–25287.

[3] Wang, X., & Han, S. (2024, December). Optimization of Power Allocation for OFDM Based ISAC Systems. In *GLOBECOM 2024-2024 IEEE Global Communications Conference* (pp. 5387-5392). IEEE.

[4] An, J., Li, H., Ng, D. W. K., & Yuen, C. (2023). Fundamental detection probability vs. achievable rate tradeoff in integrated sensing and communication systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, *22*(12), 9835-9853.

ENHANCING SOLAR PV PANEL PERFORMANCE: A REVIEW OF THERMAL MANAGEMENT, MATERIAL INNOVATIONS AND ANTI-SOILING TECHNIQUES

Hüseyin NAZLIGÜL [1], Başak DOĞRU MERT [2]

[1] Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
0000-0003-3037-8568

[2] Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering,
0000-0002-2270-9032

ABSTRACT

Solar photovoltaic (PV) technology is at the forefront of the energy transition due to the increasing need for clean and sustainable energy on a worldwide scale. Despite remarkable progress, the real-world efficiency of PV panels remains well below their theoretical potential, limited by factors such as elevated operating temperatures, material constraints, and environmental soiling. This paper presents a comprehensive review of advanced strategies to maximize PV panel efficiency by synthesizing recent innovations in three key domains: (i) thermal management techniques—including passive and active cooling, radiative coatings, and phase-change materials—to mitigate temperature-induced performance losses; (ii) breakthroughs in material science and surface engineering, such as high-efficiency tandem and thin-film cells, anti-reflective and self-cleaning coatings; and (iii) state-of-the-art cleaning and maintenance solutions designed to minimize power losses from dust and pollution. By comprehensively evaluating the effectiveness and feasibility of these approaches, the study underscores the necessity of integrated solutions that combine advanced cell technologies, intelligent thermal regulation, and proactive maintenance. The results demonstrate how comprehensive, multifaceted approaches can significantly enhance the long-term reliability and operational performance of PV installations, accelerating the widespread adoption of solar energy as a cornerstone of a sustainable energy future.

Keywords: Photovoltaic (PV) panel, efficiency enhancement, thermal management,cleaning techniques, semiconductor material innovations.

1. INTRODUCTION

Solar energy is rapidly increasing its share in global electricity production as a clean and inexhaustible resource. In 2024, the global installed solar capacity reached approximately 2.2 TW, marking a record annual addition of 597 GW—an increase of 33% compared to the previous year [1]. However, the practical efficiency of PV solar panels remains significantly below ideal values due to various environmental and structural factors. High operating temperatures and surface contamination (dust, dirt, etc.) can seriously reduce PV performance. For instance, each 1 °C increase in cell temperature decreases the efficiency of silicon cells by approximately 0.4–0.5% [2]. An accumulated layer of dust can lead to up to 30% power loss within a month [3]. Therefore, the development of techniques that

minimize efficiency losses in PV panels is important both to increase energy production and to reduce the unit cost.

This paper examines up-to-date approaches for increasing the efficiency of solar panels under three main headings:

(1) Reducing panel temperature with thermal management techniques [4],

(2) Improving cell and surface technologies through material innovations [4],

(3) Cleaning and maintenance methods that reduce losses due to environmental pollution [5][6][7].

The methods in each category are discussed in light of the literature, and their applicability is evaluated.

2. THERMAL MANAGEMENT TECHNIQUES

One of the main reasons for efficiency loss in solar panels is that a large portion of absorbed solar radiation is converted into heat, raising cell temperature. As cell temperature increases, the output power of a PV module decreases, and in the long term, panel lifespan can be shortened [8]. Various thermal management techniques have been developed to reduce panel operating temperature. These are basically divided into passive and active cooling; additionally, innovative applications such as heat-dissipating special coatings and phase change materials (PCM) have emerged [9].

2.1. Passive Cooling Techniques

Passive cooling enables PV panels to dissipate heat without external energy input. One of the most common passive cooling methods is enhancing natural air circulation by attaching heat sinks and fins to the rear surface of the panel. For instance, installing an air channel beneath the panel has been shown to facilitate natural convection and improve cooling performance [10]. Experiments have demonstrated that metal fins on the rear surface can significantly reduce panel temperature and improve efficiency. Using cylindrical pin fins, researchers achieved a temperature drop of nearly 5.9 °C and a 13.5% increase in power output [11]. Similarly, various fin geometries have been tested, showing temperature reductions up to 7.5 °C and efficiency gains of around 2.8% [12].

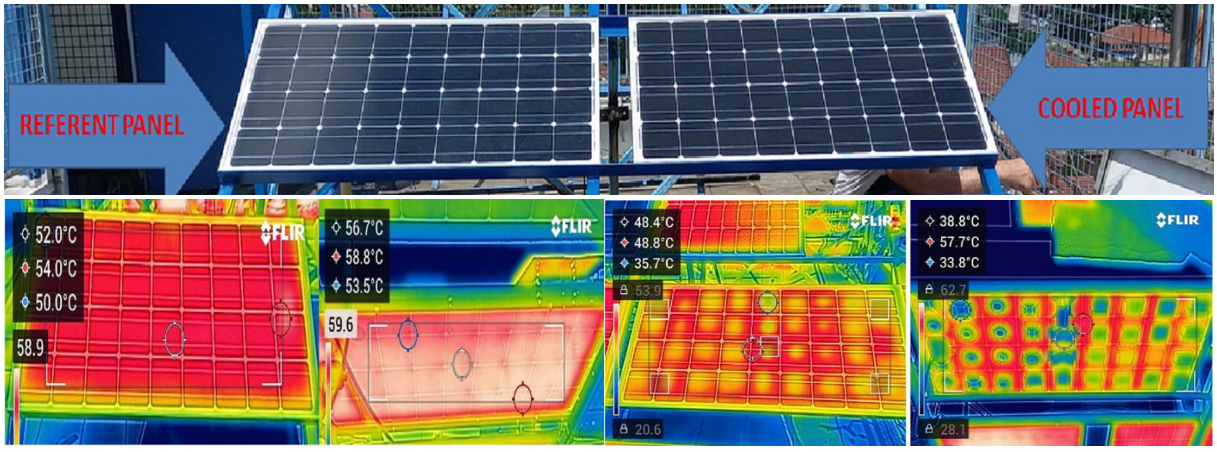


Figure 1. Thermal images of the both sides of a) referent solar panel, b) passively cooled solar panel [12].

Larger passive coolers have also demonstrated substantial gains. For example, one study reported up to 13% improvement in efficiency using an aluminum heat plate for natural convection cooling [13]. Heat pipes are another effective method for passive cooling. They have been shown to maintain cell temperatures between 32–46 °C under intense solar radiation and to homogenize temperature distribution across the panel [14]. In another study, combining heat pipes with heat sinks led to a 4 °C temperature drop and a 2.8% increase in voltage output [15]. Despite their advantages, passive systems generally have limitations. However, the effectiveness of passive methods is generally limited, and very large heat spreaders may be required for the cooling needs of concentrated solar applications. Particularly in concentrated photovoltaic (CPV) applications, where heat loads are intense, very large heat spreaders may be required to achieve adequate cooling [16]. Nonetheless, these systems are valued for their simplicity, reliability, and low maintenance since they consume no energy beyond initial installation costs, because they do not consume energy other than installation costs.

2.2. Active Cooling Techniques

In active cooling, external devices such as fans or pumps are used to remove heat from the panel. These methods are generally more effective than passive ones but may reduce net energy gains due to the electricity consumed by auxiliary equipment [17]. The two main types of active cooling are forced air cooling and forced water cooling. In forced air cooling, fans blow air over the panel surface or its rear side to increase convective heat transfer. For example, using a fan array behind a PV panel can significantly reduce temperature and increase power output. Experiments show that fan-based cooling systems can yield temperature reductions of around 15 °C and improve power output by up to 15% compared to natural convection [18]. In forced water cooling, water is circulated over or behind the panel to absorb heat. Spraying a thin film of water onto the front surface can reduce module temperature by over 30% and increase power output by around 13% [19]. Circulating water behind the panel can reduce temperature by around 20% and boost efficiency by approximately 9% [20], while other studies report up to 57% gains in electrical power output through rear-surface water cooling [21]. Water cooling offers an added benefit: it helps clean the panel surface from dust, improving light absorption and reducing maintenance needs [22]. Moreover, the heat extracted from the panel can be stored and reused, such as for domestic water heating. This makes water-based cooling suitable for photovoltaic-thermal (PV/T) hybrid systems, which aim to increase total energy utilization from both electricity and heat production [23].

2.3. Radiative Cooling and Special Surface Coatings

In recent years, special coatings applied to the surface of PV modules have enabled passive radiative cooling, a method that allows panels to emit heat directly to outer space via infrared radiation while still transmitting visible light. Nanostructured coatings, such as silica-based films that act as blackbodies in the infrared region and remain transparent in the visible range, have shown the ability to reduce panel temperatures by up to 13 °C below ambient levels [24]. Photonic crystal structures designed for radiative cooling have also been shown to cool solar cells effectively without impeding sunlight transmission [25]. These coatings exploit the atmospheric transparency window (8–13 μm) to emit thermal radiation into space, which can

significantly reduce PV temperatures. Because PV module efficiency typically decreases by about 0.45% for each 1 °C increase in temperature, even a 10 °C drop can yield approximately 4–5% relative efficiency improvement.

Some experimental coatings have achieved over 10% improvement in efficiency by reducing PV temperatures by more than 40 °C, all without requiring external energy input [26]. The primary advantage of radiative cooling is that it is entirely passive, with no moving parts or energy consumption, making it highly attractive for remote or hot-climate installations. Polymer-based coatings like PDMS and PET have also shown cooling potential of up to 10 °C below ambient in specific weather conditions [27].

2.4. Phase Change Materials (PCM) for Cooling

Another passive approach is the application of PCMs to the rear surface of solar panels. These materials—such as paraffin waxes or salt hydrates—absorb large amounts of heat by melting at a specific temperature, which helps to stabilize the panel temperature during peak sunlight. As the panel heats up, the PCM melts and stores excess thermal energy as latent heat. When the ambient temperature drops, the PCM solidifies and releases the stored heat, passively regulating the cell temperature. Experiments have shown that PCMs can reduce PV module temperatures by around 4–8 °C and enhance efficiency by 7–10%, particularly under stable climate conditions [28, 29]. However, in regions with large diurnal temperature variations, the performance benefits tend to decrease to around 6–7% [30].

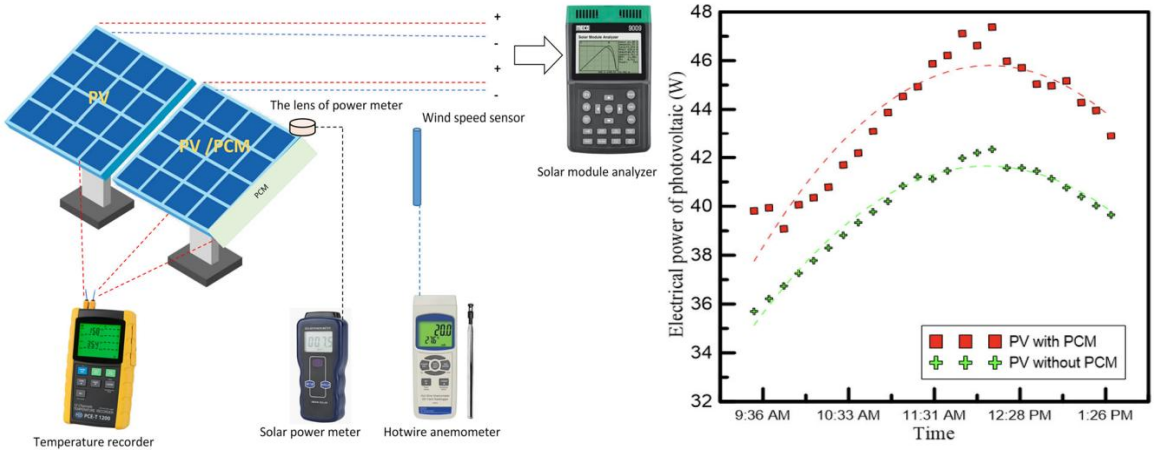


Figure 2. a) Schematic diagram of the test rig b) electrical power generation for PV and PV/PCM cells [29].

The long-term benefit of PCMs lies in their chemical stability and passive operation. Their primary limitations include added material cost and reduced cooling effectiveness once the melting point is surpassed in extremely hot climates [31]. To address these issues, current research is exploring nano-enhanced PCMs by incorporating thermally conductive materials like CuO or Al_2O_3 nanoparticles. These additives can significantly improve the thermal conductivity and heat transfer rate of PCMs, leading to further efficiency improvements of up to 25% in some systems [32,33].

2.5. Evaluation of Thermal Management Techniques

Overall, thermal cooling methods play a key role in improving the real-world performance of PV panels. Passive cooling solutions offer ease of application and continuous benefit without maintenance, while active cooling methods can achieve greater absolute efficiency gains. The choice of method depends on climatic conditions and installation scale. For example, a simple aluminum heatsink may be sufficient for small residential systems, whereas in large solar farms, advanced techniques such as water cooling or radiative coatings can provide gains that justify the investment. Additionally, the use of thermal cooling techniques for the creation of photovoltaic-thermal (PV-T) hybrid systems offers a way to increase total energy efficiency. In summary, when combined with material and design innovations, these methods for reducing panel temperature have significant potential to increase the energy yield of solar panels.

3. MATERIAL INNOVATIONS AND SURFACE TECHNOLOGIES

Advancements in materials science are a key driver of continuous improvement in PV efficiency. Crystalline silicon (c-Si) remains the dominant material, used in over 80% of commercial solar panels, due to its abundance, long-term stability, and mature manufacturing processes [34]. The theoretical Shockley–Queisser efficiency limit for single-junction silicon cells is ~33%, with practical lab-scale efficiencies approaching 27%. To move closer to this limit, industry has introduced architectures such as PERC (Passivated Emitter Rear Contact) and advanced passivation techniques like TOPCon and heterojunction (HJT) structures, which have pushed silicon cell efficiencies up to 26–27% in laboratory conditions [35,36]. To overcome the intrinsic limitations of silicon, thin-film technologies using materials like cadmium telluride (CdTe) and copper indium gallium selenide (CIGS) have been developed, reaching lab efficiencies above 23%, while also enabling flexible, lightweight modules [37,38].

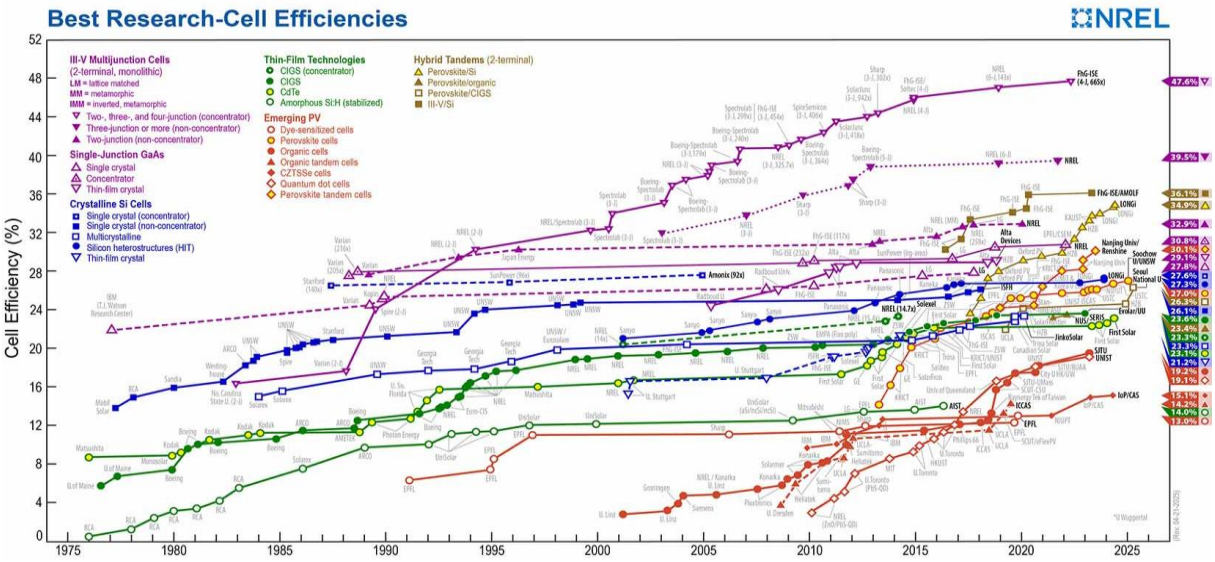


Figure 3. A chart of the highest confirmed conversion efficiencies for research cells for a range of photovoltaic technologies, plotted from 1976 to the present.

Third-generation PV technologies are increasingly focused on tandem (multi-junction) cells, which combine materials with different bandgaps to capture a wider portion of the solar spectrum. Tandem devices such as GaInP/GaAs/Ge triple-junction cells have achieved efficiencies exceeding 45% under concentrated sunlight but remain mostly limited to specialized aerospace applications [39]. A particularly promising breakthrough is the use of perovskite materials, especially lead-halide perovskites, which have rapidly progressed from initial efficiencies of 3% to over 26% in lab settings [40]. Perovskite-silicon tandem solar cells have now demonstrated efficiencies surpassing 30%, with pathways to exceed 34% in the near future [41]. In addition, combinations of perovskite with CIGS in tandem structures have achieved efficiencies above 24% and even modeled up to 40% in some advanced designs [42]. Micro- and nano-texturing like pyramid structures further enhance light trapping. In summary, ongoing innovations across both active materials (silicon, thin-film, perovskite, tandem) and surface coatings (AR, texturing, self-cleaning) have already raised module efficiencies from ~14% to over 20% in recent years. With the convergence of tandem designs, advanced coatings, and thermal management, commercial modules may soon approach 30% efficiency [43].

4. CLEANING AND MAINTENANCE AGAINST ENVIRONMENTAL SOILING

For solar panels operated outdoors, performance loss due to environmental soiling (dust, dirt, pollen, bird droppings, etc.) is a significant problem. The degree of soiling varies based on geographic location and climate; in arid and dusty regions, a few weeks of accumulation can cause severe power loss [44,45]. Experimental studies have shown that uncleaned panels can lose up to 30–40% of efficiency within a few months, and up to 80% following major dust storms [46,47].

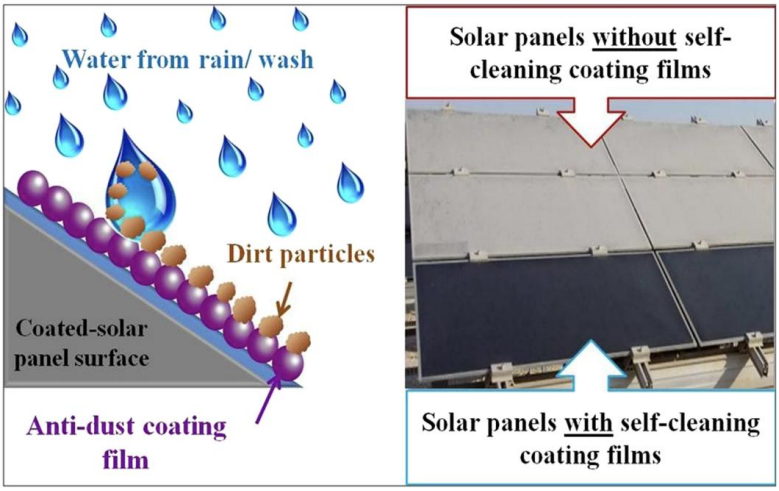


Figure 4. Self-cleaning coating films for solar panels [47].

Thus, regular cleaning is essential to maintain system output. For instance, continuous soiling rates of 3–4% may result in billions of dollars in global revenue losses annually [48]. The simplest cleaning method is manual washing, but this becomes impractical and costly for utility-scale plants. Moreover, water scarcity poses a major challenge in arid regions [49]. To overcome these limitations, automated robotic cleaning systems have been developed, using

rails, brushes, or wipers to remove accumulated dust at scheduled intervals, sometimes combined with water sprays [50]. In addition, non-contact and waterless cleaning technologies are emerging. For example, electrostatic dust removal systems use transparent electrodes to apply an electric field that lifts dust off the surface, achieving over 95% cleaning efficiency in minutes [51]. Electrodynamic Screens (EDS), which create traveling electric fields to actively repel dust, have shown promise even in extreme environments like Mars missions [51]. Anti-soiling coatings offer another passive strategy. Hydrophobic and superhydrophobic nano-coatings minimize dust adhesion and allow rain to self-clean the panels. Some coatings have reduced dust accumulation by 30–40% [52,53,47]. Photocatalytic coatings, such as TiO_2 thin films, can also degrade organic contaminants and further enhance self-cleaning [47]. Optimizing cleaning schedules is crucial for both cost-effectiveness and water conservation. In desert areas, weekly or biweekly cleaning may be optimal, whereas natural rainfall may suffice in wetter regions [44]. Sensor-based monitoring systems are also being developed to trigger automated cleaning based on real-time soiling levels [54]. In summary, soiling is one of the most severe long-term threats to PV performance, especially in desert climates, but a combination of smart monitoring, automated cleaning, and advanced coatings can mitigate its impact and improve long-term energy yields.

5. DISCUSSION

The three main strategies analyzed in this study—thermal management, material innovations, and cleaning/maintenance—offer complementary approaches for increasing the real-world efficiency of solar panels. Thermal management techniques are especially effective for improving instantaneous performance under high-temperature conditions. Passive cooling methods (heat sinks, fins, radiative coatings, etc.) provide a cost-effective solution for a few degrees of cooling without extra energy consumption [12, 24, 26]. Active cooling enables more aggressive temperature control and >10% efficiency gains, but its net benefit depends on the energy consumption of the cooling system itself [19, 20]. In remote or off-grid applications, energy used for cooling must be compensated by panel output. In the future, smart cooling systems could adaptively operate according to environmental and load conditions (e.g., activating active cooling only on very hot days). Integration of thermal cooling with thermal storage or utilization systems (e.g., PV-T hot water integration) can further improve overall system efficiency [22,23].

Material innovations continue to push the limits of PV technology. While laboratory results for new semiconductors are promising, their commercialization takes time. Although perovskite–silicon tandem cells exceed 30% efficiency in the lab, achieving the same success at panel scale and in real outdoor conditions (e.g., humidity and UV stability of perovskites) remains a challenge [34, 35, 37]. Advanced silicon cell architectures (heterojunction, TOPCon) are now entering mass production, and >25% efficient modules are on the horizon [35]. Cost-effectiveness and scalability are crucial: Even if a material achieves high efficiency, its market share is limited if it contains rare elements or requires complex fabrication. For example, III–V multi-junction cells remain costly and are confined to niche applications [39]. Surface coatings are also advancing: Coatings that are simultaneously anti-reflective and anti-soiling

(e.g., hydrophilic AR coatings) can offer multiple improvements in one application [47, 49,52]. Of course, the outdoor durability and manufacturability of coatings must be carefully evaluated. Cleaning and maintenance methods are important for performance, especially in dusty and arid regions. Since soiling rates differ geographically, a combination of active cleaning (robotic systems, EDS, etc.) and passive preventive methods (hydrophobic coatings, optimal tilt angle design) provides the most effective results [46,47,49,51]. The economic optimization of cleaning frequency should also be considered: Too frequent cleaning may maximize output but must be balanced against water and labor costs. Decision-support systems and multi-criteria optimization are being developed for each plant [44, 54]. During maintenance, safety and panel integrity are paramount, as improper cleaning can cause micro-scratches and long-term efficiency loss [47].

A holistic approach is required for optimal PV panel efficiency. Merely increasing cell efficiency is insufficient if the panel is covered with dust or suffers from overheating. Conversely, a panel with low cell efficiency cannot deliver high power even if kept clean and cool. Thus, the ideal scenario is a panel with next-generation high-efficiency cells, well-designed thermal management, and accessible cleaning systems [49, 23, 35, 39, 34, 46, 54].

6. CONCLUSION

Efficiency improvement in the solar energy sector means lower-cost and more widely applicable photovoltaic systems. In this paper, three prominent strategies in the current literature for improving PV efficiency have been analyzed in depth: thermal management techniques to reduce panel temperature, material innovations to enhance cell and module performance, and cleaning/maintenance methods to mitigate losses from environmental conditions. Advances in all three areas are enabling higher real-world output from solar panels. In thermal management, passive cooling (natural air/water, heat pipes, fins, radiative coatings, etc.) offers low-cost improvements, while active cooling (fans, water pumps) provides significant gains in hot climates. Innovative radiative coatings and PCMs show promise for further gains without external power input. In materials, new semiconductors and cell architectures have set laboratory records—over 30% for perovskite–silicon tandems. Thin-film and advanced silicon cells are providing incremental improvements in commercial panels, and surface technologies such as AR and passivation coatings are enhancing light harvesting and electrical quality.

Environmental soiling solutions, including robotic cleaners, electrostatic systems, and self-cleaning coatings, are now essential for sustainable large-scale solar plant operation. These three strategies clearly complement each other, and the highest efficiency can only be achieved through multidimensional optimization. In the future, integrated designs combining high-efficiency cell materials, intelligent thermal control, and self-cleaning features will become standard. As research in both materials science and system engineering continues, PV panel efficiency and reliability will keep increasing, accelerating the adoption of solar energy for a sustainable future.

REFERENCES

1. IRENA, *Renewable Capacity Highlights 2025*. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2025/Mar/IRENA_DAT_RE_Capacity_Highlights_2025.pdf

2. Abdel-Aziz, M. and ElBahloul, A., *Innovations in improving photovoltaic efficiency: A review of performance enhancement techniques*, Energy Conversion and Management, 2025. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119589.

3. Singh, N. and Bartaria, V., *Thermal Effects on Photovoltaic Panel Efficiency and Enhanced Cooling Strategies for Optimal Performance*, International Research Journal of Engineering & Applied Sciences, 2023. https://doi.org/10.55083/irjeas.2023.v11i04011.

4. Pham, C., Pung, C. and Jiao, L., *Development of Titanium Dioxide Coating for Self-Cleaning Photovoltaic Panels*, Green Energy and Environmental Technology, 2024. https://doi.org/10.5772/geet.20240059.

5. Hwang, H., Ku, C. and Huang, M., *Intelligent cleanup scheme for soiled photovoltaic modules*, Energy, 2022. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.126293.

6. De Jesus Rodrigues, A., Melo, T. and Da Silva, V., *Soiling in Photovoltaic Systems and the Negative Effects of Unpreventive Maintenance*, Journal of Bioengineering, Technologies and Health, 2023. https://doi.org/10.34178/jbth.v6i2.298.

7. Preet, S., *A review on the outlook of thermal management of photovoltaic panel using phase change material*, Energy Conversion and Management: X, 2021, 100033. https://doi.org/10.1016/J.EGYCC.2021.100033.

8. Gad, R., Mahmoud, H., Ookawara, S. and Hassan, H., *Evaluation of thermal management of photovoltaic solar cell via hybrid cooling system of phase change material inclusion hybrid nanoparticles coupled with flat heat pipe*, Journal of Energy Storage, 2023. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106185.

9. Elavarasan, R. et al., *Efficiency enhancement of PV panels with passive thermal management using PCM: An exhaustive review on materials, designs and effective techniques*, Applied Energy, 2025. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.125217.

10. Mittelman, G., Alshare, A. and Davidson, J., *A model and heat transfer correlation for rooftop integrated photovoltaics with a passive air cooling channel*, Solar Energy, 83, 1150-1160, 2009. https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2009.01.015.

11. Kareem, I., Hasan, I. and Attar, D., *Improved Photovoltaic Panel Performance Using a Cylindrical Pin Fins as a Heat Sink*, University of Thi-Qar Journal for Engineering Sciences, 2019. https://doi.org/10.31663/tqujes.10.2.336(2019).

12. Krstić, M. et al., *Passive cooling of photovoltaic panel by aluminum heat sinks and numerical simulation*, Ain Shams Engineering Journal, 2023. https://doi.org/10.1016/j.asej.2023.102330.

13. Amr, A., Hassan, A., Abdel-Salam, M. and El-Sayed, A., *Enhancement of photovoltaic system performance via passive cooling*, 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 1430-1439, 2017. https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2019.03.048.

14. Al-Mabsali, S., Chaudhry, H. and Gul, M., *Numerical Investigation on Heat Pipe Spanwise Spacing to Determine Optimum Configuration for Passive Cooling of Photovoltaic Panels*, Energies, 12, 4635, 2019. https://doi.org/10.3390/en12244635.

15. Basri, M. et al., *Heat Pipe as a Passive Cooling Device for PV Panel Performance Enhancement*, Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology, 2022. https://doi.org/10.37934/araset.28.2.190198.

16. Anderson, W., Dussinger, P., Sarraf, D. and Tamanna, S., *Heat pipe cooling of concentrating photovoltaic cells*, 2008 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1-6, 2008. https://doi.org/10.1109/PVSC.2008.4922577.

17. Kumar, V. et al., *Enhancing Solar Photovoltaic System Efficiency: Recent Progress on Its Cooling Techniques*, International Journal of Thermophysics, 2024. https://doi.org/10.1007/s10765-024-03409-0.

18. Tiwari, A., Kumar, R., Pande, R., Sharma, S. and Kalamkar, V., *Effect of Forced Convection Cooling on Performance of Solar Photovoltaic Module in Rooftop Applications*, in Advances in Sustainable Polymers, Springer, 159-172, 2020. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2666-4_16.

19. Rahim, M. et al., *Power Generation Improvement using Active Water Cooling for Photovoltaic (PV) Panel*, 2021 Fourth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 1-6, 2021. https://doi.org/10.1109/icecct52121.2021.9616889.

20. Bahaidarah, H., Rehman, S., Gandhidasan, P. and Tanweer, B., *Experimental evaluation of the performance of a photovoltaic panel with water cooling*, 2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2987-2991, 2013. https://doi.org/10.1109/PVSC.2013.6745090.

21. Colţ, G., *Performance evaluation of a PV panel by rear surface water active cooling*, 2016 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 1-5, 2016. https://doi.org/10.1109/ICATE.2016.7754634.

22. Alsayegh, K. et al., *Impact of various cooling methods on photovoltaic performance: an experimental investigation*, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2024. https://doi.org/10.1007/s10973-024-13315-0.

23. Antunes, B. et al., *Electrical performance of a water-cooled PVT system with forced and natural circulation*, Engenharia Agrícola, 2022. https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v42nepe20220108/2022.

24. Chae, D. et al., *Spectrally Selective Nanoparticle Mixture Coating for Passive Daytime Radiative Cooling*, ACS Applied Materials & Interfaces, 2021. https://doi.org/10.1021/acsami.0c20311.

25. Perrakis, G. et al., *Passive radiative cooling and other photonic approaches for the temperature control of photovoltaics: a comparative study for crystalline silicon-based architectures*, Optics Express, 28(13), 18548-18565, 2020. https://doi.org/10.1364/oe.388208.

26. Jaramillo-Fernández, J., Silva-Oelker, G. and Astraili, D., *Passive radiative cooling materials integrated in renewable energy technologies for enhanced performance*, EPJ Web of Conferences, 2024. https://doi.org/10.1051/epjconf/202430913007.

27. Alshammari, A. et al., *Polymeric coatings for passive radiative cooling of PV modules in hot and humid weather: Design, optimization, and performance evaluation*, Case Studies in Thermal Engineering, 2024. https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.104341.

28. Elavarasan, R. et al., *Solar photovoltaics integrated with hydrated salt based phase change material*, Journal of Solar Energy Engineering, 2022. https://doi.org/10.1115/1.4054028.

29. Alwan, A. and Hassan, A., *Experimental Study on Optimizing Photovoltaic Panel Efficiency: Harnessing Paraffin Wax Phase Change for Temperature Reduction*, Arabian Journal for Science and Engineering, 1-14, 2024. https://doi.org/10.1007/s13369-023-08581-3.

30. Hasan, A., McCormack, S., Huang, M., Sarwar, J. and Norton, B., *Increased photovoltaic performance through temperature regulation by phase change materials: Materials comparison in different climates*, Solar Energy, 115, 264-276, 2015. https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2015.02.003.

31. Karthick, A. et al., *Passive Cooling Method for Photovoltaic Panel*, 2023 7th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 13-16, 2023. https://doi.org/10.1109/ICECA58529.2023.10395810.

32. Siahkamari, L., Rahimi, M., Azimi, N. and Banibayat, M., *Experimental investigation on using a novel phase change material (PCM) in micro structure photovoltaic cooling system*, International Communications in Heat and Mass Transfer, 2019. https://doi.org/10.1016/J.ICHEATMASSTRANSFER.2018.12.020.

33. Kibria, M. et al., *Impact of hybrid nano PCM (paraffin wax with Al2O3 and ZnO nanoparticles) on photovoltaic thermal system: Energy, exergy, exergoeconomic and enviroeconomic analysis*, Journal of Cleaner Production, 2024. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140577.

34. Machín, A. and Márquez, F., *Advancements in Photovoltaic Cell Materials: Silicon, Organic, and Perovskite Solar Cells*, Materials, 17, 2024. https://doi.org/10.3390/ma17051165.

35. Ding, Z. et al., *Highly passivated TOPCon bottom cells for perovskite/silicon tandem solar cells*, Nature Communications, 15, 2024. https://doi.org/10.1038/s41467-024-52309-2.

36. Zheng, J. et al., *Balancing Charge-Carrier Transport and Recombination for Perovskite/TOPCon Tandem Solar Cells with Double-Textured Structures*, Advanced Energy Materials, 13, 2022. https://doi.org/10.1002/aenm.202203006.

37. Noh, M. et al., *Perovskite/CIGS Tandem Solar Cells: Progressive Advances from Technical Perspectives*, Materials Today Energy, 2023. https://doi.org/10.1016/j.mtener.2023.101473.

38. Negi, W. and Thakur, R., *Advances in Monolithic Perovskite CIGS Tandem Solar Cells: A Path to High-Efficiency Photovoltaics*, International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 2025. https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.66228.

39. Kim, C. et al., *Strategy for large-scale monolithic Perovskite/Silicon tandem solar cell: A review of recent progress*, EcoMat, 2021. https://doi.org/10.1002/EOM2.12084.

40. Huang, T. et al., *Wide-Gap Perovskite via Synergetic Surface Passivation and Its Application toward Efficient Stacked Tandem Photovoltaics*, Small, e2103887, 2021. https://doi.org/10.1002/smll.202103887.

41. Sutherland, B., *Perovskite-Silicon Tandems Edge Forward*, Joule, 4, 722-723, 2020. https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.03.022.

42. Chakraborty, A. et al., *Optimizing Tandem Solar Cell Efficiency: A Perovskite-CIGS Approach*, 2024 Second International Conference on Emerging Trends in Information Technology and Engineering (ICETITE), 1-5, 2024. https://doi.org/10.1109/ic-ETITE58242.2024.10493502.

43. Machín, A. and Márquez, F., *Advancements in Photovoltaic Cell Materials: Silicon, Organic, and Perovskite Solar Cells*, Materials, 17, 2024. https://doi.org/10.3390/ma17051165.

44. Ammari, N. et al., *In-situ soiling evaluation and cleaning schedules optimization for several PV technologies under desert climate*, Renewable Energy, 2024. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120167.

45. Siyabi, I. et al., *Effect of Soiling on Solar Photovoltaic Performance under Desert Climatic Conditions*, Energies, 2021. https://doi.org/10.3390/EN14030659.

46. Hooshyar, P. et al., *Recent progress of soiling impact on solar panels and its mitigation strategies: A review*, Applied Energy, 2025. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124979.

47. Isaifan, R. et al., *Improved Self-cleaning Properties of an Efficient and Easy to Scale up TiO2 Thin Films Prepared by Adsorptive Self-Assembly*, Scientific Reports, 7, 2017. https://doi.org/10.1038/s41598-017-07826-0.

48. Kivambe, M., Figgis, B. and Tabet, N., *Performance of Antisoiling Coatings for Enhancement of PV Panel Performance in Doha*, QScience Proceedings, 2018. https://doi.org/10.5339/QFARC.2018.EEPD754.

49. Syafiq, A. et al., *Advances in approaches and methods for self-cleaning of solar photovoltaic panels*, Solar Energy, 162, 597-619, 2018. https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2017.12.023.

50. Bhaduri, S. et al., *Impact of different brush designs in robotic cleaning on the degradation of anti-soiling coatings*, 2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2434-2438, 2021. https://doi.org/10.1109/PVSC43889.2021.9519046.

51. Bernard, A., Eriksen, R. and Mazumder, M., *Water Free Cleaning Solution: Environmental Durability of Electrodynamic Screen (EDS) Films in Water-Free Cleaning of Solar Collectors*, 2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2894-2898, 2019. https://doi.org/10.1109/PVSC40753.2019.8981159.

52. Hossain, M. et al., *Anti-Soiling Coatings for Enhancement of PV Panel Performance in Desert Environment: A Critical Review and Market Overview*, Materials, 15, 2022. https://doi.org/10.3390/ma15207139.

53. Mehmood, U. et al., *Organic Superhydrophobic Coatings for PV Modules. The Effects of Dust and Heat on Photovoltaic Modules: Impacts and Solutions*, Springer, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-84635-0_6.

54. Aïssa, B., Scabbia, G. and Figgis, B., *Field Assessment of the DustIQ Optical Soiling Sensor Performance Under the Harsh Conditions of Desert Environments*, 2024 IEEE 52nd Photovoltaic Specialist Conference (PVSC), 0024-0026, 2024. https://doi.org/10.1109/PVSC57443.2024.10749590.

PRINTING THE GREEN FUTURE: A REVIEW ON THE ROLE OF 3D PRINTED ELECTRODES IN GREEN HYDROGEN

Hüseyin NAZLIGÜL [1], Başak DOĞRU MERT [2] Mehmet Erman MERT [3]

[1] Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, 0000-0003-3037-8568

[2] Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, 0000-0002-2270-9032

[3] Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Advanced Technology Research and Application Center, 0000-0002-0114-8707

ABSTRACT

Green hydrogen production from renewable energy sources is an important part for a sustainable energy economy. In recent years, additive manufacturing (3D printing) techniques have underlined as innovative and cost-effective options for fabricating electrodes used in water electrolysis for hydrogen generation. This paper presents a comprehensive review of the use of 3D-printed electrodes in hydrogen production, focusing on literature published in the last decade. Technologies such as fused deposition modeling (FDM) have enabled the fabrication of conductive electrode structures with complex geometries and porous surfaces, which enhance electrochemical reactions. Researchers have shown increases in electrolysis efficiency by employing metallic coatings and conductive polymer filaments such as carbon-doped PLA. Furthermore, the catalytic capability of these electrodes has been further increased by surface coatings applied after printing, such as chemical plating and electrodeposition. Indicators of performance published in the literature, including the current density, rate of hydrogen evolution, and energy efficiency, indicate that 3D-printed electrodes are reaching the performance capabilities of standard electrodes in alkaline and PEM electrolyzers. The review provides the state of the art, important outcomes, and future outlook of 3D-printed electrode technologies and their promise to enhance the efficiency of hydrogen production with the ability to design electrodes selectively.

Keywords: 3D printed electrodes, hydrogen production, additive manufacturing, conductive filaments, electrode geometry.

1. INTRODUCTION

Growing global energy demand, the exhaustion of fossil fuel resources, and the mounting issue of climate change have driven the quest for cleaner and sustainable energy carriers at a faster pace. Hydrogen is a highly energy-dense fuel with environmentally friendly characteristics, and among the different methods of production, water electrolysis with the use of renewable power sources (solar and wind) offers a path for hydrogen production with no greenhouse gases [1-6]. The design and material nature of the electrodes in the system are the important factors for the performance of the water electrolysis [7-10]. The usual flat plates and metal foams are the traditional electrodes, but advances in

additive manufacturing techniques open up the possibility of choosing electrodes with improved performance and cost-effectiveness for the production of hydrogen.

3D printing methods permit the fabrication of complex electrode architectures with controlled surfaces. Of note is FDM, with its wide availability and low cost, as a commonly used method for the printing of electrode substrates with conductive polymer composites [11-14]. The method is useful for the generation of porous geometries, high-surface-area structures, and embedded flow channels, and all enhance mass transport and reaction kinetics in alkaline water electrolyzer. Yet, low electrical conductivity of the electrodes achieved upon 3D printing is the challenge because of the poor electrochemical activity of commercially available conductive filaments. The filaments must be subjected to post-fabrication treatments like surface polish, chemical activation, and metal coating to enhance the electrochemical activity [15-21].

This article gives a comprehensive review of the state-of-the-art of 3D-printed electrodes for hydrogen production. The ensuing sections analyze the nature of the 3D printing technologies employed, the printing materials utilized (e.g., PLA composites), the impact of electrode geometry, surface modification methods, and the use of 3D-printed electrodes in different types of electrolyzers like alkaline and PEM systems. Comparison of performance is made with respect to the current density, rate of hydrogen generation, and energy efficiency. The article culminates in the presentation of future outlook, technical challenges, and open questions within this emerging area.

2. 3D PRINTING TECHNOLOGIES FOR ELECTRODE

3D printing provides a quick and economical path for the manufacturing of complex electrode structures. Of the additive manufacturing methods that are employed for electrode preparation, FDM is the most commonly used because of its cost-effectiveness and availability. Other approaches include direct ink writing (DIW), laser-induced forward transfer (LIFT), aerosol jet printing (AJP), and stereolithography (SLA), each based on various principles like extrusion, laser sintering, or photopolymerization [22-28].

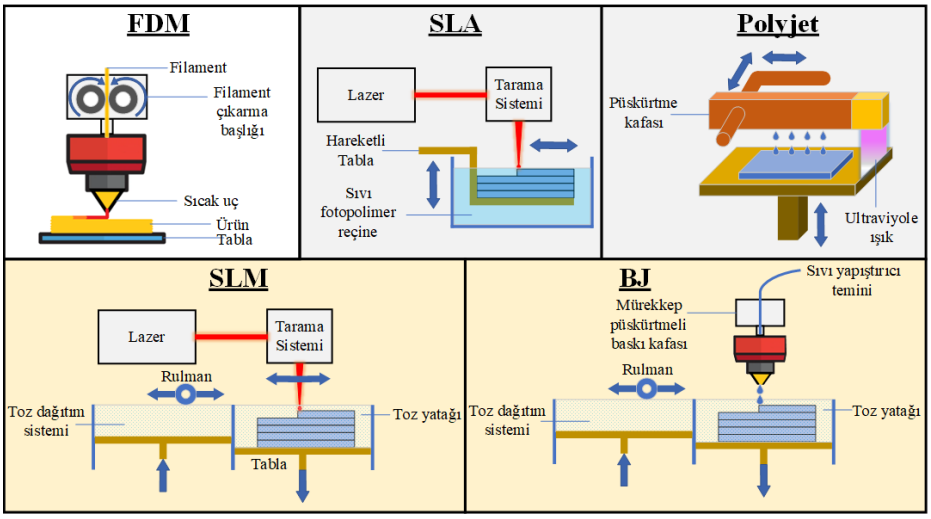


Figure 1. 3D printing technologies.

FDM is especially appealing for laboratory-scale studies due to its simplicity. When using this process, thermoplastic filaments are melted and extruded layer upon layer to create three-

dimensional geometries. As examples, FDM-printed structures have been reported to enhance the performance of hydrogen evolution reaction through the increased reactive area and reduced diffusion path for the reactants. The produced electrodes exhibit increased surface area, tailored porosity, and incorporated flow channels, all of which are important for enhancing mass transport and reaction kinetics in electrochemical devices [29-32].

These advantages notwithstanding, FDM has certain drawbacks. The thermosprocessing that is conducted is often detrimental to certain polymeric materials, and the surfaces finish with microscale roughness as a result of the layered nature [32-35]. Microscale roughness, while being beneficial for electrochemical surface area, is detrimental to reproducibility and mechanical properties. Higher resolution and smooth surfaces are available with certain methods like SLA, but the typically non-conductive nature of the photopolymer resins employed and the necessity for additional doping or coating to enable electrochemical activity is a drawback [36,37].

More sophisticated methods such as selective laser melting (SLM) or electron beam melting (EBM) enable direct deposition of metallic electrodes with better conductivity and durability [38]. Yet they involve costly equipment and are currently not broadly accessible for small-scale research facilities. All in all, whereas FDM is currently pre-eminent in the domain of 3D-printed electrodes for hydrogen generation, developments in printing method and material are broadening the range of possibilities for designing future applications. In general, advances in 3D printing technologies have made it possible to develop customized electrode architectures, paving the way for more efficient electrochemical devices. In this study, the materials and designs of electrodes produced by 3D printing are examined in detail below, with special emphasis on the widely used FDM technique.

3. ELECTRODE MATERIALS AND CONDUCTIVE FILAMENTS

Material selection for 3D-printed electrodes is important since it determines printability, conductibility, mechanical stability, and chemical durability under electrochemical conditions. The thermoplastics PLA (polylactic acid), ABS (acrylonitrile butadiene styrene), and PETG, typically used for FDM, are naturally insulators. Conductive electrodes are formed through modification of these polymers with conducting additives like carbon black, graphite, or graphene, producing commercial conductive filaments.

For instance, commonly used commercial filaments like Proto-Pasta and Black Magic incorporate carbon-filled PLA and are extensively used in electrochemical applications [39-48]. Yet, their conductivity is still limited compared to metal-based materials. Experiments have depicted that the carbon fill used in the filaments is typically encapsulated within the polymer matrix and therefore less available at the surfaces for electron transfer reactions. Consequently, post-processing processes like surface sanding, chemical etching, or solvent activation are normally needed to enhance conductivity and electrochemical activity [49-51].

An additional challenge is that producers do not typically reveal the actual composition of commercial conductive filaments. Such transparency creates consistency problems. Pumera et al. analyzed one product and detected trace levels of Fe and Ti impurities in a commercial filament, and this had a profound influence on the electrode's behavior as a catalyst [52]. Moreover, studies have shown that certain conductive filaments experience aging effects with

the passage of time, and the electrochemical characteristics are reduced during storage, possibly as a result of moisture uptake and thermal degradation [53].

To overcome these constraints, researchers started producing their own tailored conductive filaments. Banks et al., for example, synthesized a filament with high platinum concentrations to produce electrodes with great electrochemical performance but at the expense of increased material cost [54]. Pumera's group in their study produced a PLA-doped filament with MoS_2 and carbon, designed for electrochemical and photocatalytic applications. Yet, optimizing the filler dispersion and the printability is still problematic [55].

A good example is Pereira et al. (2024), who produced a laboratory-fabricated PLA composite filament with 72% loading of carbon black (Vulcan XC72R). Electrodes fabricated from this filament and with a CoP (cobalt phosphate) catalyst coating registered a hydrogen production rate of ~10.2 µmol/min, compared to electrodes produced using commercial filaments [56]. The significance of the selection of filler, the loading ratio, and polymer-filler interaction in the production of efficient 3D-printed electrodes is emphasized through these results.

Fundamentally, the development of filament material is the greatest impediment for the broad-scale use of 3D-printed electrodes. High-conductivity composites, multi-material printing, and in-situ doping approaches are anticipated to be the focus of future research for the purpose of single-stage fabrication of operational electrodes with minimal post-processing.

4. ELECTRODE GEOMETRY AND EFFECTS OF DESIGN CHARACTERISTICS

One of the greatest strengths of the 3D printing methods is the ability to tailor the geometry of the electrodes. Macro and microstructural details of electrodes directly influence the performance of the electrolysis. A greater surface area, for instance, has more electrochemical reaction sites, and therefore higher currents are achieved. Porous structures and interior channels for the flow of reactants and removal of gases further boost the mass transport and elimination of concentration overpotentials.

Due to additive manufacturing, previously complex structures that are challenging to create with conventional processes are now easy to make. Structures based upon triply periodic minimal surfaces (TPMS) have gained significant attention in the literature because they possess continuous, highly porous, and interconnected geometry. They enable the concomitant control of porosity and the size of the flow path, as they facilitate enhanced bubble detachment and fluid flow [8].

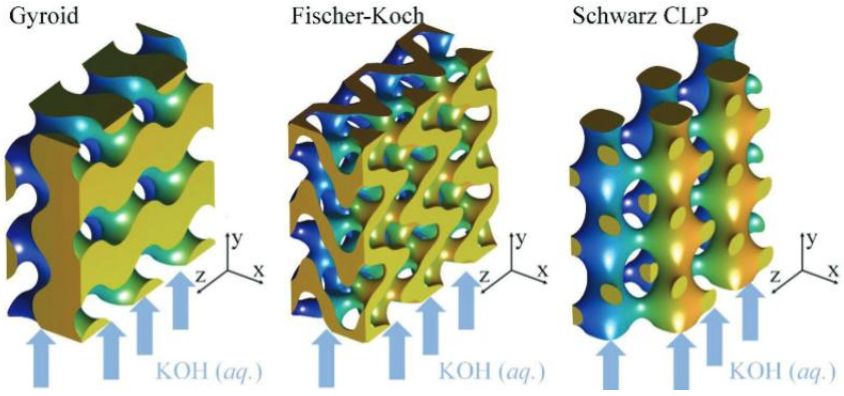


Figure 2. Examples of triply periodic minimal surfaces (TPMS) geometries [8].

Rocha et al. designed different TPMS structures through 3D printing for applications in zero-gap alkaline electrolyzers. The structures showed better bubble removal and less concentration gradients than conventional foam or mesh electrodes. Both computational and experimental data indicated that the optimized geometries of the TPMS could decrease the cell overpotentials by over 20%, improving the energy efficiency considerably [8]. The authors noted that geometric design has the ability to drive performance to a degree that is similar to that achieved through advanced catalytic coatings.

Other researchers compared various electrode geometries and their electrochemical response as well. As a case in point, Dincer and Agelin-Chaab (2025) tested the electrochemical activity of FDM-printed electrodes with rectangular and triangular cross-sectional geometries, each with a coat of $NiZnFe_4O_4$-based catalyst. The triangular geometry with its sharp edges and high aspect ratio produced a current density of –183.17 mA/cm^2 at –2.05 V, higher than its rectangular counterpart as far as the rate of reaction is concerned [7]. Surprising as it is, the rectangular geometry needed 30% less overpotential to achieve the same current density, demonstrating the significance of edge effects and field distribution with respect to electrode kinetics.

These findings show that geometry optimization via 3D printing is as powerful as optimizing catalyst composition. Designs with linked channels, ordered patterns, or hierarchical porosity provide large benefits in bubble management and diffusion of the ions. Looking ahead, combining macroscopic design elements (like flow channels or support structures) with microscopic features (such as catalyst anchoring sites) will be key to unlocking the full potential of 3D-printed electrodes in hydrogen production systems.

5. SURFACE MODIFICATION TECHNIQUES: COATINGS AND ACTIVATION

Electrodes produced via 3D printing—especially those based on polymer/carbon composites—often lack sufficient electrochemical activity in their raw form. Therefore, various surface modification techniques are commonly applied to enhance their conductivity and catalytic performance. These modifications include metal coatings, electroplating, chemical treatments, and post-processing activations, all aimed at improving surface properties and enabling efficient hydrogen evolution reactions.

One of the most widespread approaches is metal coating, typically through electrodeposition. For instance, Mert et al. (2024) proposed and simulated a PV-wind hybrid energy system for hydrogen production by alkaline electrolysis, utilizing 3D-printed honeycomb electrodes modified with transition metals (Ni, Cu, and NiCu) to enhance electrocatalytic activity. Their results demonstrated that the NiCu-decorated 3D-printed electrodes exhibited high catalytic performance and stability, suggesting that additive manufacturing combined with surface modification can offer a cost-effective and efficient approach for sustainable hydrogen generation from renewable energy sources [57]. Bui et al. (2020) fabricated porous 3D-printed electrodes from carbon-PLA filament and coated their surfaces with nickel using an electrochemical bath. These Ni-coated electrodes were integrated into a fully 3D-printed, membrane-free electrolyzer and successfully used for hydrogen and oxygen production in 1.0 M NaOH solution [58]. Although the system did not meet industrial efficiency and gas purity

standards, it demonstrated the feasibility of operating a complete water-splitting device using only printed components.

Another popular method is electroless plating, a chemical deposition technique used to metallize non-conductive 3D-printed surfaces. In this process, metal ions are chemically reduced and deposited onto the substrate without external current. It is particularly useful for providing an initial conductive layer, which can then be enhanced with further electroplating. Dincer et al. applied this method to deposit a thin nickel layer on their FDM-printed electrodes, followed by the electrodeposition of a second layer containing $NiZnFe_4O_4$ nanoparticles with copper additives, creating a multi-functional, highly active catalytic surface [7].

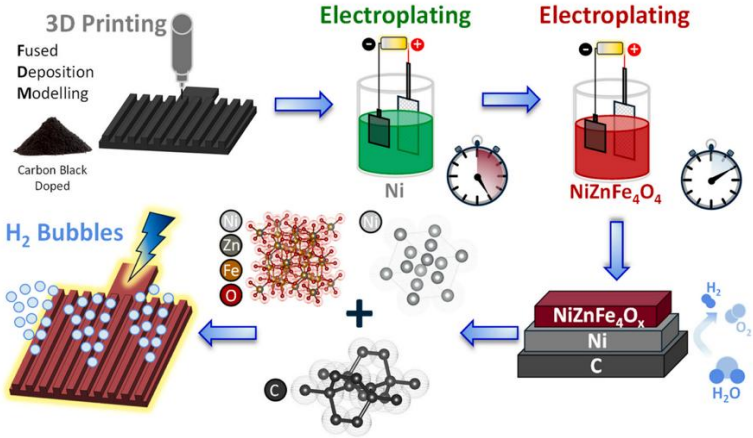


Figure 3. Schematic diagram of electrode preparation process [7].

Bimetallic coatings are also used to improve electrocatalytic activity. Hüner et al. (2023) coated graphene-doped PLA electrodes with Ni-Co alloys in different molar ratios. Among the tested samples, the 1:4 Ni/Co ratio yielded the best results, achieving an overpotential of only ~102 mV to reach 10 mA/cm^2 and a Tafel slope of 164 mV/dec. Moreover, this composition provided 81.2% higher current density than other ratios, highlighting the importance of synergistic effects in alloy systems [11].

In addition to metal deposition, surface activation through physical or chemical treatments is often employed. These include:

- Solvent immersion (e.g., in dimethylformamide) to partially dissolve the polymer matrix and expose embedded conductive particles [59];
- Lasing or laser ablation to create microscale surface roughness and remove insulating layers [60];
- Electropolymerization of conductive polymers on the printed surface to form thin catalytic films [61,62].

These post-processing techniques significantly enhance the electrochemical performance of 3D-printed electrodes, enabling them to function comparably with conventional metal electrodes. However, they also introduce additional steps in the fabrication process. Therefore, future efforts are focused on eliminating or minimizing the need for surface modifications by developing more advanced printing materials and multi-material printing strategies.

Ultimately, combining the geometric freedom of 3D printing with surface engineering approaches offers a powerful toolkit for customizing electrodes tailored to specific hydrogen production applications.

6. APPLICATIONS OF 3D-PRINTED ELECTRODES

Water electrolysis technologies can be classified into several types based on the electrolyte and membrane configuration, including alkaline electrolysis, proton exchange membrane (PEM) electrolysis, anion exchange membrane (AEM) electrolysis, and membraneless systems. Among these, the majority of studies on 3D-printed electrodes have focused on alkaline systems, due to their compatibility with cost-effective materials and simpler operating conditions.

Alkaline electrolyzers use potassium hydroxide (KOH) or sodium hydroxide (NaOH) as the electrolyte, typically. Alkaline systems enable the use of less noble metal catalysts like nickel, cobalt, or iron, as they are less expensive and simpler to plate onto 3D-printed substrates. Several studies have proven the effectiveness of FDM-printed electrodes with nickel or Ni-based coatings when used in 1 M KOH solutions. An example is the designed alkaline electrolyzer produced by Dincer and Agelin-Chaab (2025), which utilized FDM-printed Ni/ $NiZnFe_4O_4$-coated electrodes, with a hydrogen production rate of about $4.22–5.82\times10^{-10}$ kg/s at 2.15 V and energy efficiency of 14.34% when tested at the laboratory scale [7].

By comparison, PEM electrolyzers run in acidic conditions and employ solid polymer membranes (most commonly Nafion) for the proton transport. Noble metal catalysts like platinum (Pt) for the cathode and ruthenium and iridium oxides for the anode are typically required for these systems, adding material expense and the issue of corrosion. Consequently, 3D printing in PEM-related applications is less commonly employed for non-electrode materials like flow plates, cell enclosures, or supports. Chisholm et al. (2014), for instance, successfully fabricated a full-fledged PEM electrolyzer through the use of 3D-printed polypropylene flow plates, which were subsequently coated with silver for conductivity. The device had high current densities and good functional performance despite being fully fabricated through additive manufacturing [22].

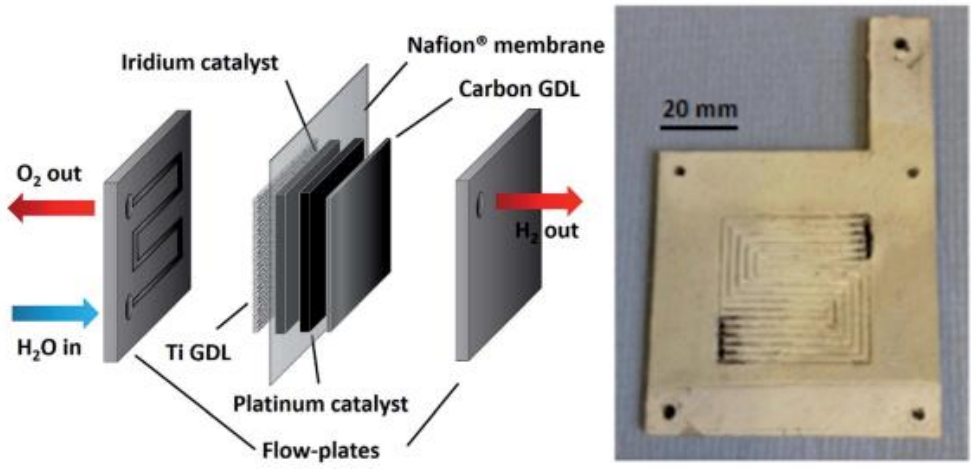


Figure 4. Electrolysis cell construction and photograph of plate after electrodeposition of silver [22].

More recent efforts have explored the direct use of 3D-printed electrodes in PEM systems by employing corrosion-resistant coatings and novel materials. Tubular PEM electrolyzers with

printed oxygen electrodes and atomic layer deposition (ALD) coatings have shown promising early results, although challenges such as polymer degradation and membrane compatibility still need to be addressed.

The AEM electrolyzers offer a hybrid approach, combining alkaline operating conditions with solid polymer membranes. AEM systems are attractive because they can use non-precious metal catalysts while providing the structural benefits of membrane-based designs. Although fewer studies have applied 3D-printed electrodes specifically to AEM systems, the materials and designs developed for alkaline applications are often transferable to AEM environments.

Membraneless electrolyzers, which do not use a gas separation membrane, have also been prototyped using fully 3D-printed components. In these systems, hydrogen and oxygen gases are separated passively through natural buoyancy or directional flow. Bui et al. (2020) designed a membrane-free electrolyzer with 3D-printed Ni-coated PLA electrodes and a printed chamber that allowed for gas separation via gravity. Although such systems suffer from reduced gas purity and lower efficiency, they provide a compelling demonstration of the design flexibility and cost-reduction potential of additive manufacturing [58].

In summary, 3D-printed electrodes have been successfully tested in alkaline, PEM, and membraneless electrolysis systems, with growing interest in expanding their application to AEM electrolyzers. The main challenge in adapting printed components to more demanding environments—such as high-pressure PEM systems—lies in the chemical and thermal stability of the materials. Nevertheless, the ability to rapidly prototype, customize, and integrate components makes 3D printing an increasingly valuable tool for electrolysis research and development.

7. HYDROGEN PRODUCTION PERFORMANCE

The performance of 3D-printed electrodes in hydrogen production is typically evaluated using key electrochemical metrics, including current density, overpotential, Tafel slope, hydrogen evolution rate, and energy efficiency. Literature findings suggest that recent advancements in materials and surface engineering have significantly improved the competitiveness of 3D-printed electrodes compared to conventional metal electrodes.

In terms of current density, several studies have reported values in the range of 100–200 mA/cm² at moderate overpotentials, which is approaching the performance seen in commercial alkaline electrolyzers. For example, the $NiZnFe_4O_4$-coated 3D-printed electrode studied by Dincer and Agelin-Chaab reached –183.17 mA/cm^2 at –2.05 V, indicating high catalytic activity [7]. Another study by Hüner et al. reported that a Ni/Co-coated electrode required only ~102 mV overpotential to achieve 10 mA/cm^2, with a Tafel slope of 164 mV/dec—a strong indication of favorable reaction kinetics [11].

Regarding hydrogen evolution rate, laboratory-scale systems using 3D-printed electrodes have shown promising results. For instance, Pereira et al. (2024) reported a production rate of ~10.2 µmol/min using a CoPi-coated electrode made from a custom PLA/carbon black filament [60]. Dincer et al.'s system, utilizing multiple electrodes, produced hydrogen at ~5.8×10^{-10} kg/s, or approximately 7.5 g per hour, under continuous operation [7]. While these numbers may appear modest, they are significant for small-scale setups using non-optimized, low-cost components.

When it comes to energy efficiency, values remain somewhat lower than commercial systems due to suboptimal gas separation, cell resistance, and unoptimized system design. For example, Dincer's alkaline system achieved an energy efficiency of 14.34%, which is relatively low compared to 60–80% efficiencies typically seen in industrial systems [7]. Nonetheless, Chisholm's 3D-printed PEM electrolyzer demonstrated performance metrics close to standard benchmarks, showcasing the feasibility of printed devices in high-efficiency applications [22]. Ekinci et al. (2025) reported that in this study, a honeycomb-structured metal cathode was fabricated by selective laser sintering (SLS) 3D printing for alkaline water electrolysis. The 3D-printed electrode exhibited higher catalytic activity than graphite and comparable performance to platinum, producing up to 28.5 mL of hydrogen in 30 minutes at 3 V. The comparison of hydrogen production with different electrodes is presented in Figure 5 [38].

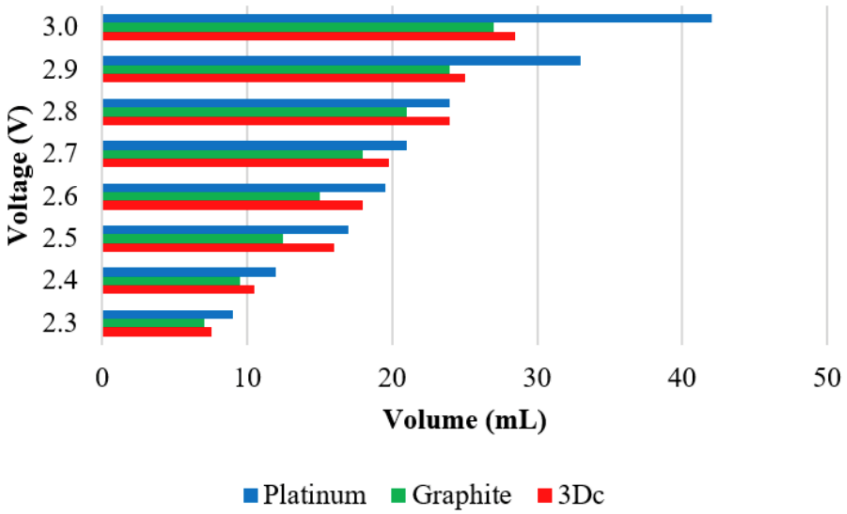


Figure 5. Comparison of hydrogen volumes of 3Dc, graphite and platinum electrodes at different voltages during 30 minutes [38].

Performance is also influenced by electrode geometry, surface coatings, and electrochemical cell architecture. Designs that promote effective bubble detachment, such as TPMS structures or strategically placed flow channels, have been shown to reduce mass transfer resistance and improve gas evolution rates [8]. Additionally, electrodes with tailored geometries have achieved comparable results to those using advanced catalysts, further underscoring the potential of 3D-printed designs.

In summary, while the overall performance of 3D-printed electrodes still varies depending on materials and post-processing, many systems have demonstrated sufficient electrochemical characteristics to support practical hydrogen generation. With continued advances in filament technology, multi-material printing, and design optimization, it is likely that 3D-printed components will soon reach and possibly surpass the performance of traditional electrodes in certain applications.

8. FUTURE PERSPECTIVES, CHALLENGES, AND RESEARCH GAPS

While 3D-printed electrodes for hydrogen production show great promise, the technology is still in a developmental stage. Several challenges remain before widespread adoption can be

achieved, and numerous research opportunities exist across materials science, electrochemical engineering, and system integration.

8.1. Advanced Filament Development

One of the most important limitations is the lack of high-conductivity and electrochemically stable filaments. Current commercial filaments often require post-processing and exhibit suboptimal performance due to low filler loadings or poor dispersion. Future research must focus on developing filaments with well-dispersed conductive materials such as carbon nanotubes, graphene, metal nanoparticles, or intrinsically conductive polymers (e.g., PEDOT, polyaniline). Transparent communication between filament manufacturers and researchers is also essential, as unknown impurities can affect performance and reproducibility.

8.2. Reducing Post-Processing Requirements

Many current systems rely on surface activation, chemical etching, or metal coatings to enhance performance. These additional steps increase complexity and processing time. To streamline fabrication, future efforts may involve multi-material printing or the development of single-step functional filaments that do not require secondary treatments. For instance, using dual-extruder printers to simultaneously deposit conductive and structural materials offers a pathway to fully integrated electrode designs.

8.3. Long-Term Stability and Durability

Most reported studies evaluate electrode performance over short durations. However, practical electrolysis systems require electrodes to operate continuously over thousands of hours. Long-term stability studies addressing corrosion, delamination, and catalyst degradation in various electrolytes are essential to assess commercial viability. Some works have already noted aging effects in printed materials, such as declining conductivity over time due to moisture or thermal stress.

8.4. Scalability and Stack Integration

To date, most experiments have been conducted at the lab scale with single-cell configurations. In industrial applications, electrolyzers consist of multi-cell stacks, which demand strict tolerances in manufacturing and thermal/fluidic management. Scaling up 3D-printed systems while ensuring uniformity and reliability presents a key engineering challenge. Research into modular cell designs and 3D-printed stack components could bridge the gap between prototypes and pilot-scale systems.

8.5. Industrial Implementation and Standardization

For 3D-printed electrodes to be accepted in commercial environments, standardized testing protocols, material certifications, and quality control are required. Academic prototypes often lack real-world durability tests and fail to account for economic feasibility. Partnerships between academia and industry will be important for translating lab innovations into deployable energy technologies.

8.6. Design-Driven Innovation

Finally, 3D printing allows for radically new design paradigms that go beyond the limitations of traditional manufacturing. Future research can explore integrated architectures where membranes, catalysts, and fluid channels are printed together in a single monolithic structure. Concepts such as spiral electrodes, tubular cells, or biomimetic geometries offer untapped performance improvements that can be realized only through additive manufacturing.

CONCLUSION

In summary, 3D printing has emerged as a transformative technology for the fabrication of advanced electrodes used in green hydrogen production. Over the past decade, research has demonstrated that 3D-printed electrodes—enabled by conductive filaments, optimized geometries, and effective surface modifications—can achieve electrochemical performance approaching that of conventional metal electrodes in both alkaline and PEM electrolyzers. Despite challenges related to conductivity, long-term stability, and scalability, the ability to rapidly prototype and customize electrode designs provides unique opportunities for efficiency improvement and cost reduction. Moving forward, advances in filament development, multi-material printing, and integrated cell architectures are expected to drive further progress. Ultimately, additive manufacturing is poised to play a key role in making hydrogen production more efficient, sustainable, and accessible for the clean energy transition.

REFERENCES

1. Kakoulaki, G., Kougias, I., Taylor, N., et al., *Green hydrogen in Europe—a regional assessment: substituting existing production with electrolysis powered by renewables*, Energy Conversion and Management, 228, 113649, 2021. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113649

2. Qureshi, F., Yusuf, M., Khan, M.A., et al., *A state-of-the-art review on the latest trends in hydrogen production, storage, and transportation techniques*, Fuel, 340, 127574, 2023. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127574

3. Lee, S.A., Kim, J., Kwon, K.C., et al., *Anion exchange membrane water electrolysis for sustainable large-scale hydrogen production*, Carbon Neutralization, 1, 26–48, 2022. https://doi.org/10.1002/cnl2.9

4. Von Zuben, T., Moreira, D., Germscheidt, R., et al., *Is hydrogen indispensable for a sustainable world? A review of H_2 applications and perspectives for the next years*, Journal of the Brazilian Chemical Society, 2022. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20220026

5. Bilgiç, G., Bendeş, E., Öztürk, B., Atasever, S., *Recent advances in artificial neural network research for modeling hydrogen production processes*, International Journal of Hydrogen Energy, 48, 18947–18977, 2023. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.02.002

6. Terlouw, T., Bauer, C., McKenna, R., Mazzotti, M., *Large-scale hydrogen production via water electrolysis: a techno-economic and environmental assessment*, Energy & Environmental Science, 15, 3583–3602, 2022. https://doi.org/10.1039/D2EE01023B

7. Dincer, I., Agelin-Chaab, M., *Experimental investigation and evaluation of newly designed electrodes for hydrogen production in alkaline water electrolysis*, Journal of Power Sources, 2025. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.236326

8. Rocha, F., Delmelle, R., Georgiadis, C., Proost, J., *Electrochemical performance enhancement of 3D printed electrodes tailored for enhanced gas evacuation during*

alkaline water electrolysis, Advanced Energy Materials, 13, 2203087, 2023. https://doi.org/10.1002/aenm.202203087

9. Márquez, R.A., Kawashima, K., Son, Y.J., et al., *Tailoring 3D-printed electrodes for enhanced water splitting*, ACS Applied Materials & Interfaces, 14, 42153–42170, 2022. https://doi.org/10.1021/acsami.2c12579

10. Lee, C.-Y., Taylor, A.C., Nattestad, A., et al., *3D printing for electrocatalytic applications*, Joule, 3, 1835–1849, 2019. https://doi.org/10.1016/j.joule.2019.06.010

11. Hüner, B., Demir, N., Kaya, M.F., *Hydrogen evolution reaction performance of Ni–Co-coated graphene-based 3D printed electrodes*, ACS Omega, 8(6), 5958–5974, 2023. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c07856

12. Omar, M., Razak, K., Wahab, M., Hamzah, H., *Recent progress of conductive 3D-printed electrodes based upon polymers/carbon nanomaterials using a fused deposition modelling (FDM) method as emerging electrochemical sensing devices*, RSC Advances, 11, 16557–16571, 2021. https://doi.org/10.1039/D1RA01987B

13. De Oliveira, F., Mendonça, M., De Moraes, N., Petroni, J., Neves, M., De Melo, E., Lucca, B., Da Silva, R., *Exploring the coating of 3D-printed insulating substrates with conductive composites: a simple, cheap and versatile strategy to prepare customized high-performance electrochemical sensors*, Analytical Methods, 2022. https://doi.org/10.1039/D2AY00803C

14. K, S., Santo, J., Penumakala, P., *Effect of surface modification of printed electrodes on the performance of supercapacitors*, Journal of Energy Storage, 2022. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.106043

15. Nouseen, S., Ghosh, K., Pumera, M., *3D printing of MAX/PLA filament: Electrochemical in-situ etching for enhanced energy conversion and storage*, Electrochemistry Communications, 148, 107652, 2023. https://doi.org/10.1016/j.elecom.2023.107652

16. Ndoye, B., Ouédraogo, N., Demisse, W., Grizzle, A., Mutunga, E., Tyagi, P., *3D printed and nickel-coated electrodes for photocatalytic electrolysis for hydrogen generation*, ASME IMECE Conference Proceedings, Volume 8A: Energy, 2021. https://doi.org/10.1115/imece2021-70318

17. Ahn, J., Park, Y., Lee, S., Yang, J., Pyo, J., Lee, J., Kim, G., Choi, S., Seol, S., *3D-printed NiFe-layered double hydroxide pyramid electrodes for enhanced electrocatalytic oxygen evolution reaction*, Scientific Reports, 12, 1–9, 2022. https://doi.org/10.1038/s41598-021-04347-9

18. Jyoti, F., Fojta, M., Hermanová, M., et al., *Genosensing on a 3D-printed nanocarbon electrode*, Electrochemistry Communications, 151, 107508, 2023. https://doi.org/10.1016/j.elecom.2023.107508

19. Jyoti, F., Redondo, E., Alduhaish, O., Pumera, M., *3D-printed electrochemical sensor for organophosphate nerve agents*, Electroanalysis, 35, e202200047, 2023. https://doi.org/10.1002/elan.202200047

20. Browne, M.P., Novotný, F., Sofer, Z., Pumera, M., *3D printed graphene electrodes' electrochemical activation*, ACS Applied Materials & Interfaces, 10, 40294–40301, 2018. https://doi.org/10.1021/acsami.8b14701

21. Redondo, E., Muñoz, J., Pumera, M., *Green activation using reducing agents of carbon-based 3D printed electrodes: turning good electrodes to great*, Carbon, 175, 413–419, 2021. https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.01.107

22. Chisholm, G., Kitson, P.J., Kirkaldy, N.D., Bloor, L.G., Cronin, L., *3D printed flow plates for the electrolysis of water: An economic and adaptable approach to device manufacture*, Energy & Environmental Science, 7, 3026–3032, 2014. https://doi.org/10.1039/C4EE01426J

23. Xun, Y., Zhang, K., Johnson, W., Ding, J., *A minireview on 3D printing for electrochemical water splitting electrodes and cells*, APL Materials, 11(6), 061119, 2023. https://doi.org/10.1063/5.0138178

24. Wei, M., Zhang, F., Wang, W., Alexandridis, P., Zhou, C., Wu, G., *3D direct writing fabrication of electrodes for electrochemical storage devices*, Journal of Power Sources, 354, 134–147, 2017. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.04.042

25. Ambrosi, A., Pumera, M., *Self-contained polymer/metal 3D printed electrochemical platform for tailored water splitting*, Advanced Functional Materials, 28(27), 2018. https://doi.org/10.1002/adfm.201700655

26. Saadi, M.A.S.R., Maguire, A., Pottackal, N., Thakur, M.S.H., Ikram, M.M., Hart, A.J., Rahman, M.M., *Direct ink writing: A 3D printing technology for diverse materials*, Advanced Materials, 34(28), 2022. https://doi.org/10.1002/adma.202108855

27. Rich, J., Cole, B.J., Li, T., Lu, B., Fu, H., Smith, B.N., Huang, T.J., *Aerosol jet printing of surface acoustic wave microfluidic devices*, Microsystems & Nanoengineering, 10(1), 2024. https://doi.org/10.1038/s41378-023-00606-z

28. Messaoudi, Y., Belhadj, H., Khelladi, M.R., Azizi, A., *Rational design of NiFe alloys for efficient electrochemical hydrogen evolution reaction: Effects of Ni/Fe molar ratios*, RSC Advances, 12(45), 29143–29150, 2022. https://doi.org/10.1039/d2ra05922c

29. Munir, S., Ali, B., Gul, S., *The advancements of 3D-printed electrodes in electrochemistry*, Discover Electrochemistry, 1, 14, 2024. https://doi.org/10.1007/s44373-024-00013-7

30. Liu, T., Chen, Y., Chen, L., *3D printing engineered multi-porous Cu microelectrodes with in situ electro-oxidation growth of CuO nanosheets for long cycle, high capacity and large rate supercapacitors*, Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 34, 85–97, 2020. https://doi.org/10.1007/s40195-020-01097-x

31. Arenas, L., Léon, C., Walsh, F., *3D-printed porous electrodes for advanced electrochemical flow reactors: A Ni/stainless steel electrode and its mass transport characteristics*, Electrochemistry Communications, 77, 133–137, 2017. https://doi.org/10.1016/j.elecom.2017.03.009

32. Van Der Heijden, M., Kroese, M., Olinga, J., Borneman, Z., Forner-Cuenca, A., *Stereolithography 3D printing as a versatile tool to manufacture porous electrodes for redox flow batteries*, ECS Meeting Abstracts, 2023. https://doi.org/10.1149/ma2023-02592889mtgabs

33. Wang, P., Zou, B., Ding, S., *Modeling of surface roughness based on heat transfer considering diffusion among deposition filaments for FDM 3D printing heat-resistant resin*, Applied Thermal Engineering, 2019. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114064

34. Dou, Y., Nian, Q., *Electrochemical sensor fabrication via FDM 3D printing and rGO surface modification*, ASME MSEC Conference Proceedings, 2024; Volume 2. https://doi.org/10.1115/msec2024-124477

35. Yadav, D., Mingareev, I., *Utilizing ultrafast lasers for postprocessing to improve mechanical properties of 3D-printed parts*, Journal of Laser Applications, 2023. https://doi.org/10.2351/7.0000804

36. Subhadarshini, S., Ghosh, K., Pumera, M., *Multiscale hierarchical nanoarchitectonics with stereographically 3D-printed electrodes for water splitting and energy storage*, Materials Today, 2024. https://doi.org/10.1016/j.mattod.2024.02.004

37. Abbasi, M., Váz, P., Silva, J., Martins, P., *Head-to-head evaluation of FDM and SLA in additive manufacturing: Performance, cost, and environmental perspectives*, Applied Sciences, 2025. https://doi.org/10.3390/app15042245

38. Ekinci, F., Mert, M. E., Nazlıgül, H., Doğru Mert, B., *Performance Analysis of Additive Manufacturing of Electrodes via Selective Laser Sintering for Green Hydrogen Production*, Çukurova University Journal of Engineering Faculty, 40(1), 111–126, 2025. https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1665920

39. Motia, S., Bouchikhi, B., Llobet, E., El Bari, N., *Synthesis and characterization of a highly sensitive and selective electrochemical sensor based on molecularly imprinted polymer with gold nanoparticles modified screen-printed electrode for glycerol determination in wastewater*, Talanta, 216, 120953, 2020. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120953

40. Yahya, R., Shah, A., Kokab, T., Ullah, N., Hakeem, M.K., Hayat, M., Haleem, A., Shah, I., *Electrochemical sensor for detection and degradation studies of ethyl violet dye*, ACS Omega, 7, 34154–34164, 2022. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04142

41. Manzoor, A., Kokab, T., Nawab, A., Shah, A., Siddiqi, H.M., Iqbal, A., *Electrochemical detection of mercuric (II) ions in aqueous media using glassy carbon electrode modified with synthesized tribenzamides and silver nanoparticles*, RSC Advances, 12, 1682–1691, 2022. https://doi.org/10.1039/D1RA08270A

42. Sultan, S., Shah, A., Firdous, N., Nisar, J., Ashiq, M.N., Shah, I., *A novel electrochemical sensing platform for the detection of the antidepressant drug, venlafaxine, in water and biological specimens*, Chemosensors, 10, 400, 2022. https://doi.org/10.3390/chemosensors10090400

43. Layqah, L.A., Eissa, S., *An electrochemical immunosensor for the coronavirus associated with the Middle East respiratory syndrome using an array of gold nanoparticle-modified carbon electrodes*, Microchimica Acta, 186, 224, 2019. https://doi.org/10.1007/s00604-019-3345-5

44. Buk, V., Pemble, M.E., *A highly sensitive glucose biosensor based on a microdisk array electrode design modified with carbon quantum dots and gold nanoparticles*, Electrochimica Acta, 298, 97–105, 2019. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.12.124

45. Bogachuk, D., Zouhair, S., Wojciechowski, K., Yang, B., Babu, V., Wagner, L., Xu, B., Lim, J., Mastroianni, S., Pettersson, H., *Low-temperature carbon-based electrodes in perovskite solar cells*, Energy & Environmental Science, 13, 3880–3890, 2020. https://doi.org/10.1039/D0EE01797B

46. Chen, S., Qiu, L., Cheng, H.-M., *Carbon-based fibers for advanced electrochemical energy storage devices*, Chemical Reviews, 120, 2811–2878, 2020. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00527

47. Siwal, S.S., Zhang, Q., Devi, N., Thakur, V.K., *Carbon-based polymer nanocomposite for high-performance energy storage applications*, Polymers, 12, 505, 2020. https://doi.org/10.3390/polym12030505

48. Nekoueian, K., Amiri, M., Sillanpää, M., Marken, F., Boukherroub, R., Szunerits, S., *Carbon-based quantum particles: an electroanalytical and biomedical perspective*, Chemical Society Reviews, 48, 4281–4310, 2019. https://doi.org/10.1039/C8CS00445E

49. Munir, S., Shah, A., Rauf, A., Badshah, A., Lunsford, S.K., Hussain, H., Khan, G.S., *Redox behavior of a novel menadiol derivative at glassy carbon electrode*, Electrochimica Acta, 88, 858–864, 2013. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.10.124

50. Yokoyama, Y., Miyazaki, K., Kondo, Y., Miyahara, Y., Fukutsuka, T., Abe, T., *In situ local pH measurements with hydrated iridium oxide ring electrodes in neutral pH aqueous solutions*, Chemical Letters, 49, 195–198, 2020. https://doi.org/10.1246/cl.190856

51. Lu, Y., Wang, W., Xie, F., *Investigation of oxygen evolution reaction kinetic process and kinetic parameters on iridium electrode by electrochemistry impedance spectroscopy analysis*, Journal of Electroanalytical Chemistry, 871, 114281, 2020. https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114281

52. Browne, M.P., Urbanova, V., Plutnar, J., et al., *Inherent impurities in 3D-printed electrodes are responsible for catalysis towards water splitting*, Journal of Materials Chemistry A, 8, 1120–1126, 2020. https://doi.org/10.1039/C9TA11949C

53. Kalinke, C., de Oliveira, P.R., Neumsteir, N.V., et al., *Influence of filament aging and conductive additive in 3D printed sensors*, Analytica Chimica Acta, 1191, 339228, 2022. https://doi.org/10.1016/j.aca.2021.339228

54. Hughes, J.P., dos Santos, P.L., Down, M.P., et al., *Single step additive manufacturing (3D printing) of electrocatalytic anodes and cathodes for efficient water splitting*, Sustainable Energy & Fuels, 4, 302–311, 2019. https://doi.org/10.1039/C9SE00679F

55. Ghosh, K., Ng, S., Iffelsberger, C., Pumera, M., *2D MoS_2/carbon/polylactic acid filament for 3D printing: photo and electrochemical energy conversion and storage*, Applied Materials Today, 26, 101301, 2022. https://doi.org/10.1016/j.apmt.2021.101301

56. Pereira, M.V., Neumsteir, N.V., Bonacin, J.A., *Hydrogen production by 3D-printed electrodes*, Discover Materials, 4, 12, 2024. https://doi.org/10.1007/s43939-024-00083-9

57. Mert, M.E., Nazlıgül, H., Avşar Aydın, E., Doğru Mert, B., *3D printed honeycomb transition metal decorated electrodes for hydrogen production*, Fuel, 357, 129690, 2024. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129690

58. Bui, J.C., Davis, J.T., Esposito, D.V., *3D-Printed electrodes for membraneless water electrolysis*, Sustainable Energy & Fuels, 4, 213–225, 2020. https://doi.org/10.1039/C9SE00710E

59. Kwaczyński, K., Szymaniec, O., Bobrowska, D., Poltorak, L., *Solvent-activated 3D-printed electrodes and their electroanalytical potential*, Scientific Reports, 13, 2023. https://doi.org/10.1038/s41598-023-49599-9

60. Głowacki, M., Cieślik, M., Sawczak, M., Koterwa, A., Kaczmarzyk, I., Jendrzejewski, R., Szynkiewicz, L., Ossowski, T., Bogdanowicz, R., Niedziałkowski, P., Ryl, J., *Helium-assisted, solvent-free electro-activation of 3D printed conductive carbon-polylactide electrodes by pulsed laser ablation*, Applied Surface Science, 149788, 2021. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.149788

61. Ekici, H., Ateş, S., Baran Aydın, E., *Production and New Green Activation of Conductive 3D-Printed Cu/PLA Electrode: Its Performance in Hydrogen Evolution Reactions in Alkaline Media*, International Journal of Chemistry and Technology, 8(1), 32-44, 2024. https://doi.org/10.32571/ijct.1375421

62. Barbosa, T., Silva, D., Borges, M., Da Trindade, S., De Oliveira Cândido, T., Pereira, A., *Influence of Surface Treatments on the Electrochemical Performance of Lab-Made 3D-Printed Electrodes*, Analytica, 2025. https://doi.org/10.3390/analytica6010009

ÇİFT YÜZEYLİ SABİT PV PANEL SAHASINDA AGRİVOLTAİK SİSTEMİN TARIM VE ENERJİ ÜRETİMİNDE UYGULANABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI: VAN İLİ ÖRNEĞİ

Ali Serkan Avcı
Batman Üniversitesi
aliserkan.avci@batman.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-0761-8642

Fatih Yalın
Batman Üniversitesi
fatihyalin.65@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, Van ilinde sabit açılı ve çift yüzeyli (bifacial) fotovoltaik (PV) panellerle donatılmış bir santral sahasında, agrivoltaik (AV) sistemin tarımsal ürün verimi ve elektrik üretimi üzerindeki uygulanabilirliği araştırılmıştır. Araştırmada, patlıcan ve turp olmak üzere iki farklı sebze türü seçilerek, hem açık alanda hem de PV panel gölgesinde yetiştiricilik yapılmıştır. Elektrik üretimi, saha üzerindeki inverter kayıtlarıyla izlenmiş; tarımsal verim ise fide boyu, yaprak boyu, toplam bitki boyu ve bitki başına taze mahsul miktarı olarak kaydedilmiştir. Elektrik üretimi bakımından AV sistemde birim panel başına üretim, standart PV santrale göre yaklaşık %80 düzeyinde gerçekleşmiştir. LER (Arazi Eşdeğer Oranı) analizine göre, patlıcan için 1.43 ve turp için 1.85 değerleri elde edilmiş, bu da AV uygulamanın toplam arazi verimliliğini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Elde edilen bulgular, Van ilinde AV sistemlerin hem tarımsal hem de enerji üretiminde sürdürülebilir bir çözüm olabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Agrivoltaik Sistemler, Sürdürülebilir Tarım, Arazi Eşdeğer Oranı(LER).

Simgeler ve Kısaltmalar

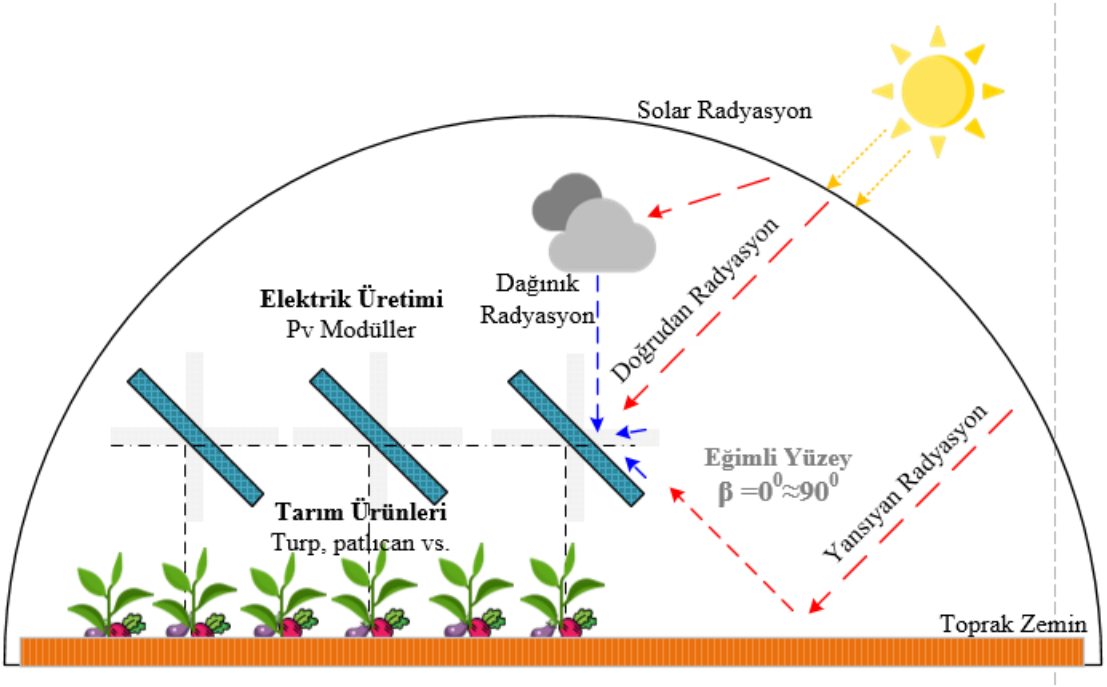
AV	Agrivoltaik Sistem
PV	Fotovoltaik (Güneş Paneli)
LER	Land Equivalent Ratio (Arazi Eşdeğer Oranı)
$Y_{tarım\ (AV)}$	Agrivoltaik sistemde elde edilen tarımsal ürün verimi
$Y_{tarım(AA)}$	Açık alanda (geleneksel tarım) elde edilen ürün verimi
$Y_{elektrik(AV)}$	Agrivoltaik sistemde elde edilen elektrik üretimi
$Y_{elektrik\ (PV)}$	Standart PV santralinde elde edilen elektrik üretimi
STC	Standard Test Conditions (1000 W/m², 25°C, 1.5 AM)
Pmax	Maksimum Güç (Maximum Power)
AC/DC	Alternatif Akım / Doğru Akım
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı artış, gıda ve enerji kaynaklarına olan talebi her geçen gün yükseltmekte, bu da sınırlı doğal kaynaklar üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Geleneksel enerji kaynaklarının çevresel etkileri ve sürdürülebilir olmayan yapısı, yenilenebilir enerji teknolojilerine yönelimi artırmıştır. 2023 yılı itibariyle dünyada kurulu güneş enerjisi (PV) kapasitesi 1.5 terawatt'a (TW) ulaşmış, bu da toplam küresel elektrik üretiminin yaklaşık %6'sını karşılar hâle gelmiştir [1]. Türkiye'de de PV kurulu gücü 12 GW seviyesine yaklaşarak yenilenebilir enerji içindeki payını hızla artırmaktadır [2]. Yenilenebilir enerji kaynakları, çevre dostu ve sürdürülebilir çözümler sunarak, hem artan nüfusun enerji ihtiyacının karşılanmasında hem de Birleşmiş Milletler'in 17 maddelik Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'na (SKA) ulaşılmasında kilit bir rol üstlenmektedir [3]. Özellikle güneş enerjisi, yüksek potansiyeli ve sürekliliği sayesinde ön plana çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji uygulamalarının arazi kullanımında rekabet oluşturmaması ve kaynakların daha etkin değerlendirilmesi için, bu teknolojilerin entegre ve verimli hibrit sistemlere dönüştürülmesi gereklidir. Bu bağlamda, tarım ve güneş enerjisi üretiminin aynı arazide eş zamanlı gerçekleştirilebildiği AV sistemler öne çıkmaktadır. AV sistemler, PV panellerin tarımsal faaliyetlerin sürdürüldüğü alanlara entegre edilmesiyle, arazinin çift amaçlı kullanımını mümkün kılan yenilikçi bir yaklaşımdır [4]. Böylece hem enerji üretimi hem de tarımsal üretim için gereken arazi miktarı azalırken, toplam verimlilik optimize edilir. Bu bütünleşik yapı, sürdürülebilir tarım ve temiz enerji hedeflerine aynı anda katkı sağlar.

AV uygulamalarda, PV paneller belirli eğimlerle monte edilerek alttaki tarımsal üretimin devam etmesine olanak tanır. Panellerin oluşturduğu kısmi gölge, suyun buharlaşmasını azaltır, bitki stresini ve aşırı sıcaklık etkilerini sınırlar; bu sayede arazi verimliliğinde artış, su tasarrufu ve iklim değişikliğine adaptasyon gibi önemli avantajlar sağlanır. Ayrıca, AV sistemler sürdürülebilir tarım uygulamalarını teşvik ederek, çevresel ve ekonomik açıdan çiftçilere ilave faydalar sunar [5]. Bu sistemlerin verimliliği, güneşten gelen üç temel radyasyon bileşeninin yönetilmesine dayanır: doğrudan (direkt) radyasyon, dağınık (diffüz) radyasyon ve yansıyan radyasyon. Doğrudan radyasyon, güneşten atmosfer aracılığıyla sapma olmaksızın PV modüllere ve bitkilere ulaşırken; dağınık radyasyon bulutlar ve atmosferdeki parçacıklar nedeniyle farklı yönlerden sisteme dağılır. Yansıyan radyasyon ise zeminden geri yansıyarak PV panellerin ön yüzeyine dolaylı olarak ulaşır [6]. Tek yüzlü ve toprak zeminli sistemlerde bu katkı sınırlı olmakla birlikte, çift yüzlü (bifacial) panellerde yansıyan radyasyon arka yüzeye ulaşıp elektrik üretimine anlamlı düzeyde katkı sağlamaktadır. AV sistemlerde modüller, bitkilerin ihtiyaç duyduğu radyasyonu optimize edecek şekilde eğimli monte edilir ve böylece hem enerji hem de tarım üretimi sürdürülebilir biçimde bir arada yürütülür. Bu sistemin çalışma prensibi ve farklı radyasyon türleriyle etkileşimi, Görsel 1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Görsel 1. Agrivoltaik sistemin çalışma prensibinin şematik gösterimi

Literatürde AV sistemlerin, aynı arazide tarımsal üretim ve güneş enerjisi üretimini birleştirerek arazi kullanımında sinerji yarattığı ve farklı iklim ve ürün koşullarında başarılı sonuçlar elde edildiği birçok araştırmada vurgulanmaktadır. Bu çalışmalara ait detaylar Çizelge 1'de verilmiştir. Türkiye'de ise AV uygulamaları henüz yaygın olmamakla birlikte, bazı pilot projeler hayata geçirilmiştir. Örneğin, İstanbul'da Komşuköy AV çiftlik ve Ankara'nın Ayaş ilçesinde kurulan TarımGES sistemleri öncül AV uygulama alanıdır [7,8].

Bu çalışmada, Van ilinde bulunan bir santralin sabit açılı ve çift yüzeyli (bifacial) PV panellerle kurulu sahasında, AV sistemin tarımsal ürün verimi ve elektrik enerjisi üretimi üzerindeki uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Güneş panelleriyle tarım bitkilerinin aynı arazide birlikte kullanımının, bu faaliyetlerin ayrı ayrı yürütülmesine kıyasla toplam arazi verimliliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Böylece, Van ilinin iklim ve arazi koşullarında AV sistemlerin uygulanabilirliği, potansiyel avantajları ve karşılaşılabilecek sınırlılıkları ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında yaz döneminde yetiştirilmek üzere turp ve patlıcan ürünleri seçilmiş; panel gölgelemesinin bu ürünlerin gelişimi üzerindeki etkileri ve aynı anda elde edilen elektrik üretimi birlikte değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Agrivoltaik sistem uygulamalarına ait literatür özeti

Yazar (Yıl)	Ülke/Bölge	Sistem Tipi / Uygulama	Yöntem	Anahtar Sonuçlar / Bulgular
Agostini ve diğerleri (2021) [9]	İtalya (Po Ovası)	Gelişmiş AV	Yaşam döngüsü, ekonomik analiz	AV sistemler arazi işgalini minimize etmekte, ürün verimini stabilize etmekte, LCOE PV ile benzer sonuçlar vermekte, 17 sürdürülebilir kalkınma amacının 14'üne katkı verilmektedir.
Schindele ve diğerleri (2020) [10]	Almanya	1.04 MWp APV, patates ve buğday	Ekonomik analiz, LCOE	AV'nin LCOE'si geleneksel arazi üstü PV'ye göre %38 daha yüksek. Patates için AV ekonomik avantaj sağlarken, buğdayda dezavantajlı.
Dinesh & Pearce (2016) [11]	ABD	Sabit eğimli AV ve tarım	Simülasyon & Ekonomik analiz	AV sistemde %30 ekonomik değer artışı, gölge toleranslı ürünlerle verim kaybı minimize edilebilmekte, ulusal PV kapasitesi artırılabilir düzeyde.
Neupane Bhandari ve diğerleri (2021) [12]	Nijer	0.15 hektar AV çiftlik modeli	Ekonomik fizibilite analizi	AV sistemde LER: 1.33 (gölge verim kaybı hariç), 1.13 (dahil), hem çiftçi hem yatırımcı için ekonomik avantaj, CO_2 emisyonu sıfıra yakın değerlerde.
Casares de la Torre ve diğerleri. (2022) [13]	İspanya (Cordoba)	NeS eksenli yatay takipli PV, AV'ye dönüştürülmüş (zeytin ağaçlı çit)	Radyasyon modellemesi, LER, izleme stratejisi	Yüksek verimli NeS yatay takipli PV sahaları, çit şeklinde ağaç ekimiyle AV'ye dönüştürülebilir. Özel izleme/backtracking stratejisi ile gölge minimuma indirildi. LER %28.9-47.2 artış gösterdi.
Valle ve diğerleri (2017) [14]	Fransa	Sabit ve hareketli PV, marul (dinamik AV)	Alan deneyi, LER analizi	Dinamik (güneş takipli) AV sistemleri, sabitlere göre hem elektrik üretimini hem de bitki biyokütlesini artırdı. LER her koşulda 1'in üzerinde (1.25–1.5) bulundu. Bitkiler, geçici gölgelemede ışık kullanımını optimize etti ve verim kaybı yaşanmadı.
Katsikogiannis ve diğerleri (2022) [15]	ABD (Boston)	Sabit bifacial PV ile AV, yaban mersini	Çok ölçekli simülasyon, duyarlılık analizi, radyasyon ve LER modeli	Farklı AV dizi topolojileri karşılaştırıldı. LER %50 arttı, yıllık AC elektrik üretimi %33 azaldı. Bifacial panellerin arka yüzeyinde ışık homojenliği ve verim %13-39 arttı. Tasarıma özgü gölgeleme ile yaban mersini yetiştiriciliği optimize edildi.
Zheng ve diğerleri (2021) [16]	Çin (Anhui)	Even-lighting AV Sistem (EAS), oluklu cam panel	Alan deneyi, optik simülasyon, LER, ekonomik analiz	EAS sistemi ile ışık dağılımı homojenleştirildi; gölgede bile verim doğal ortamla aynı veya daha iyi sonuçlar verdi. EAS ile arazi eşdeğer oranı (LER) ortalama 1.64; çiftçinin geliri ortalama 5.14 kat arttı. Yatırım maliyeti kısa sürede karşılandı.
Giri & Mohanty (2022) [17]	Hindistan (Odisha)	6 kWp AVS, çift sıralı panel, zerdeçal ve sebze tarımı	Alan deneyi, ekonomik & çevresel analiz	Çift sıralı AVS dizaynı ile LER 1,42; fayda-maliyet oranı 1.86 ve geri ödeme süresi 7-8 yıl bulundu. Yıllık toplam gelir 2308.9 $. AV ile mikroiklim iyileşti, panel sıcaklığı 1-2°C düştü.
Williams ve diğerleri (2023) [18]	Kanada (Ontario)	Sabit AV, 4 m yükseklikte, soya fasulyesi altı	CFD tabanlı mikroiklim modellemesi, alan verisi	AV sistemde (4 m yükseklik, soya altında) panel sıcaklığı geleneksel 0.5 m yükseklikte çıplak toprak üstüne göre 10°C daha düşük**.** Yüksek panel, yüksek yansıtıcılık ve evapotranspirasyon PV'nin verimini ve ömrü arttırdı; LER her zaman >1; mikroiklim iyileşti, gıda-enerji sinerjisi sağlandı.
Sarr ve diğerleri (2024) [19]	Burkina Faso	Sabit PV, farklı yükseklik ve aralıklı AV, mısır	Modelleme, MATLAB genetik algoritma optimizasyonu, alan verisi	Panel yüksekliği, aralığı ve dizi yapısı optimize edilerek hem ürün verimi hem PV çıktısı maksimize edildi. Küçük tablolar (panel grupları) ile %92.8 tam güneş veriminin altında, yüksek PV kurulu güçte %80.1 verim elde edildi. Panel aralığı arttıkça verim de arttı.
Mengi ve diğerleri (2023) [20]	ABD (Kaliforniya, Davis)	Dijital ikiz (digital twin) tabanlı AV optimizasyonu, domates	Işık-ürün etkileşimli simülasyon, genomik çok amaçlı optimizasyon	Dijital replikayla ışık ve bitki büyümesi eşzamanlı optimize edildi. Optimizasyon sonunda AV sistemde domates verimi %18 azaldı, toplam sistem verimliliği %28.9 arttı. AV tasarımında panel eğimi ve yansıtıcılığı kritik bir öneme sahip. LER ≥ 1 ile arazi çoklu kullanımı mümkün.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Santrale ait fiziki özellikler

Bu çalışmanın gerçekleştirildiği santral, Van ilinin Tuşba ilçesinde, bims üretimi yapan bir firmanın kendi elektrik ihtiyacını karşılaması amacıyla kurulmuştur. Santral, 38.54° kuzey enlemi, 43.35° doğu boylamı ve 1,729.9 m rakımda yer almaktadır. Tesisin bulunduğu bölge, Türkiye'nin en yüksek güneşlenme potansiyeline sahip alanlarından biridir [21]. Van ili, yarı-kurak karasal iklim özelliklerine sahip olup, yaz aylarında uzun süreli güneşlenme ve yüksek sıcaklık değerleriyle öne çıkmaktadır. Kış aylarında ise düşük sıcaklıklar ve kar yağışı sıklıkla görülmektedir. Çizelge 2'de Van iline ait 1939-2024 yıllarını kapsayan uzun dönem meteorolojik istatistik veriler özetlenmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık 9.5°C, yıllık toplam güneşlenme süresi ise yaklaşık 7.5 saat civarındadır. En yüksek aylık sıcaklıklar Temmuz ve Ağustos aylarında 36-37°C'ye ulaşırken, en düşük sıcaklıklar genellikle Ocak ve Şubat aylarında gözlenmektedir. Bölge, aynı zamanda ortalamanın üzerinde yağış alabilmektedir ve bu da tarımsal faaliyetler için önemli bir avantaj sağlamaktadır. Santralin fiziksel yerleşimi ve panellerin konumlandırılması, Görsel 2'de yer alan uydu görüntüsünde detaylı şekilde gösterilmiştir. Bu görselde panel dizilerinin alan üzerindeki dağılımı ve çevre tesislerin konumu açıkça görülmektedir.

Çizelge 2. Van iline ait genel meteorolojik istatistik veriler [22]

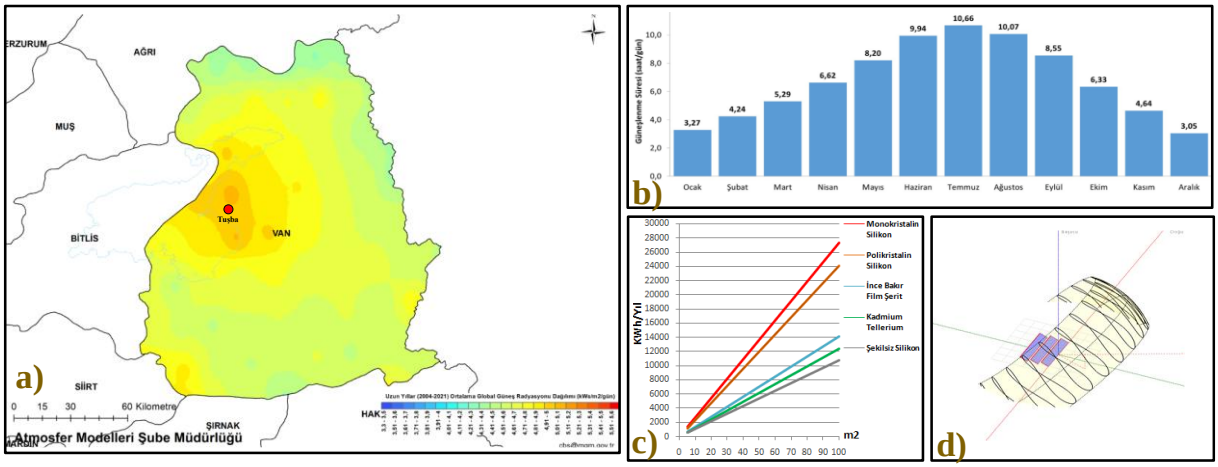
VAN	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1939 - 2024)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	-3.1	-2.4	1.7	7.9	13.2	18.3	22.3	22.3	17.9	11.4	5.0	-0.3	9.5
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	2.0	2.7	6.6	13.0	18.6	24.1	28.3	28.5	24.4	17.5	10.3	4.6	15.0
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.5	-7.0	-2.7	2.7	7.1	10.9	14.7	14.7	10.8	5.7	0.4	-4.4	3.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.7	5.5	6.0	7.4	9.3	11.7	12.1	11.4	9.8	7.1	5.6	4.3	7.9
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	10.15	9.87	12.26	12.08	11.15	5.07	1.97	1.29	2.35	8.24	8.97	9.80	93.2
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	36.7	33.5	46.9	54.9	46.6	18.1	6.2	5.8	15.3	46.5	47.1	37.5	395.1
	Ölçüm Periyodu (1939 - 2024)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.6	14.3	22.7	27.2	29.3	33.5	37.5	36.7	35.0	28.8	20.1	15.5	37.5
En Düşük Sıcaklık (°C)	-28.7	-28.2	-22.7	-13.1	-3.5	-2.6	3.6	5.0	-0.1	-14.0	-18.6	-21.3	-28.7



Görsel 2. Santrale ait uydu görüntüsü

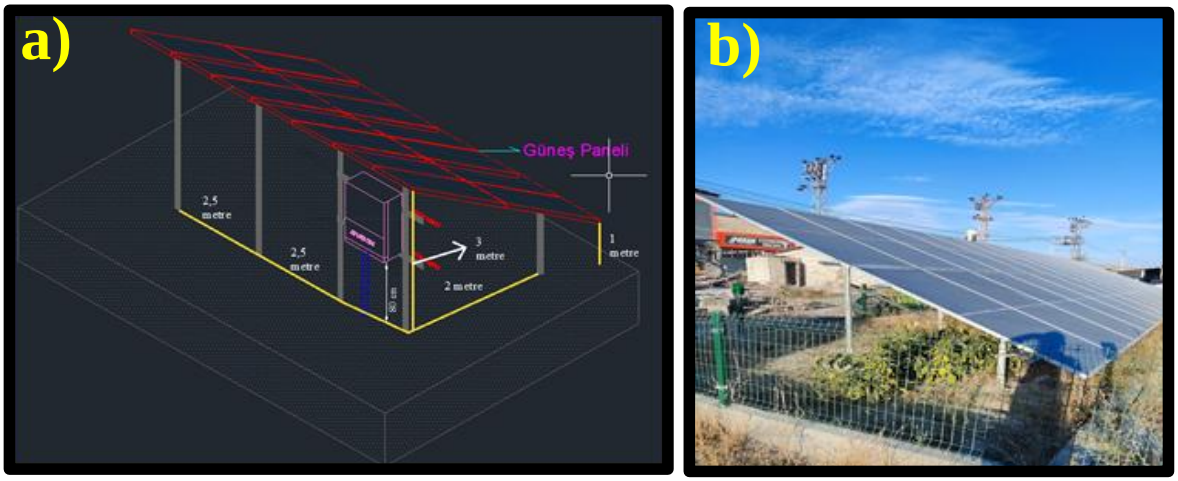
2.1.1. Elektriksel Üretim ve PV Santralinin Teknik Özellikleri

Görsel 3a ve 3b'de görüldüğü üzere, Van ili yıllık yaklaşık 3.070 saat güneşlenme süresi ve ortalama 4,5 kWh/m²-gün global radyasyon değeri ile güneş enerjisinden faydalanma açısından Türkiye'nin en avantajlı bölgelerinden biri olarak öne çıkmaktadır [23]. Bu çalışma, endüstriyel bir tesisin elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kendi mülkiyetine ait 250 m²'lik alanda, 40 kW AC / 43 kW DC gücünde, on-grid bir güneş enerjisi santralinde yürütülmüştür. Görsel 3c'de (Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) GEPA'dan elde edilen üretim grafiği ile uyumlu şekilde, kurulumda monokristal PV paneller tercih edilmiş ve bu panel tipinin yüksek enerji dönüşüm verimliliği, bölgenin radyasyon karakteristikleri ile örtüşmektedir [21]. Görsel 3d'de ise, AV sistemde güneş panellerinin arazideki konumlandırılması ve gölgeleme analizine ilişkin üç boyutlu bir modelleme sunulmaktadır. Bu analizde, PV panellerin (mavi dikdörtgenler) uzaysal yerleşimi ile birlikte, gün boyunca değişen güneş ışınımı nedeniyle arazide oluşan gölge desenleri (siyah eğriler) simüle edilmiştir. Koordinat eksenleri, panellerin oryantasyonu ile arazinin eğimi hakkında bilgi verirken, dinamik gölgeleme modelleri; panel yerleşiminin ve eğiminin, tarımsal ve elektriksel üretimin optimizasyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmek açısından kritik öneme sahiptir.



Görsel 3. Van ili için a) Ortalama güneş radyasyonu dağılımı b) Aylık ortalama güneşlenme süresi (saat/gün) c) PV Tipi-Alan üretilebilecek enerji (kWh-yıl) d) Güneşin GES üzerinde yıl boyunca izlediği yol

Santral alanı, açık ve düz bir arazide konumlanmış olup kuzey-güney doğrultusunda yerleştirilmiştir. Santralde kullanılan PV paneller, çift yüzeyli (bifacial), 500 W gücünde monokristal Half-cut teknolojisine sahiptir. Toplamda 86 adet panel kullanılmış olup, paneller yerden ön uçta 1 metre, arka uçta ise 3 metre yükseklikte, 2.5 metre genişliğinde ve 2 metre uzunluğunda konstrüksiyonlar üzerine monte edilmiştir. Panel dizilimi yatayda 15, düşeyde 2 adet olacak şekilde yapılmış; paneller arasında ise 2 cm havalandırma boşluğu bırakılmıştır. Bu yerleşim sayesinde, hem optimum güneş ışınımı elde edilmekte hem de panel altı alanların tarımsal üretim için kullanılmasına olanak sağlanmaktadır. Görsel 4'te santral alanının teknik çizimi ve uygulamanın saha fotoğrafı birlikte sunulmaktadır.



Görsel 4. a)PV alanının teknik çizimi b) AV uygulamasının saha fotoğrafı

Panel teknik özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir. Üretici fabrika testlerinde (STC koşullarında; 1000 W/m², 25°C, 1,5 AM) bir panelin yüzey alanı 2.2 m² olarak ölçülmüştür.

Çizelge 3. Panel Özellikleri

Özellik	Değer
Maksimum Güç - Pmax (Wp)	500
Maksimum Güç Voltajı - Vmp (V)	33.95
Maksimum Güç Akımı - Imp (A)	14.73
Açık Devre Voltajı - Voc (V)	40.38
Açık Devre Akımı - Isc (A)	15.63
Modül Verimi STC (%)	22.48
Güç Toleransı	0-+5
Maksimum Gücün Sıcaklık Katsayısı - Pmax (%/°C)	-0.29%/^{0}C
Açık Devre Voltajının Sıcaklık Katsayısı - Voc (%/°C)	-0.25%/^{0}C
Açık Devre Akımının Sıcaklık Katsayısı - Isc (%/°C)	0.045%/^{0}C

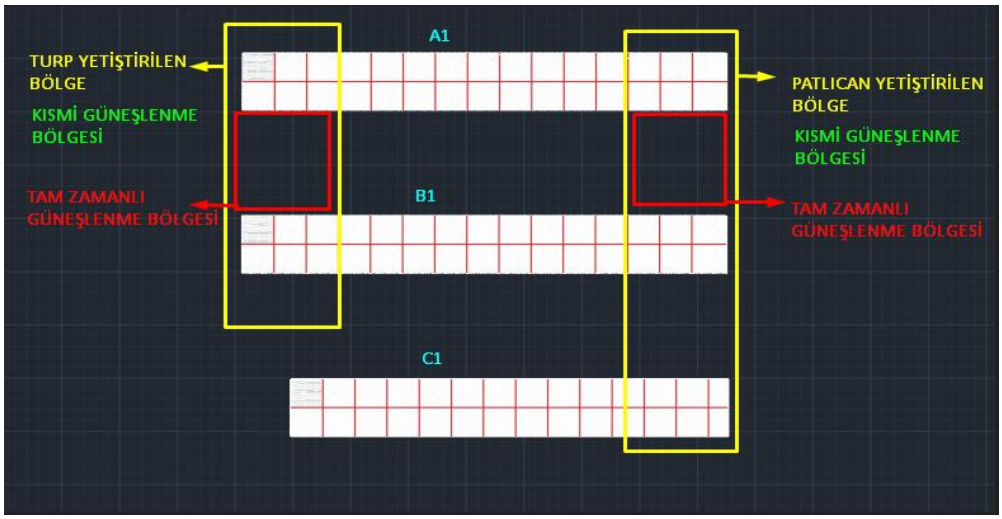
2.1.2. Tarımsal Üretim ve Parsel Düzeni

Bu çalışmada, bölgenin yazlık sebze yetiştiriciliğinde yaygın olarak tercih edilen iki ürün türü, patlıcan ve turp seçilmiştir. Bu ürünler; AV uygulamalarda gölge toleransı ve mikroiklim değişikliklerine verdikleri farklı tepkiler nedeniyle özellikle karşılaştırmalı analiz için tercih edilmiştir. Patlıcan, kısmi gölgeyi tolere edebilen ve yaz aylarının yüksek sıcaklıklarına uyum sağlayabilen bir türdür. Turp ise nispeten daha hızlı gelişen, serin ve nemli mikroiklim koşullarında optimum verim sağlayabilen bir bitki olarak öne çıkmaktadır. Böylece, farklı ışık ve nem gereksinimlerine sahip bu iki sebze türüyle, panel gölgelemesinin ve oluşan mikroiklim değişikliklerinin ürün gelişimi ve verimi üzerindeki etkileri kapsamlı şekilde değerlendirilmiştir. Bu ürünler Mayıs ayında fide olarak dikilmiş ve geleneksel tarla tarımındaki bakım uygulamaları ile yetiştirilmiştir. Görsel 5'te görüldüğü gibi her iki ürün için de, AV panel altı koşullarında ve tam açık (panelsiz) kontrol koşullarında olmak üzere eşit büyüklükte deneme parselleri oluşturulmuştur. Her bir parselin alanı yaklaşık 60 m²'dir. Panel altı parseller, PV panel sıralarının doğrudan altına gelecek şekilde konumlandırılmış; kontrol parselleri ise gölgeleme almayan açık alanda yer almıştır (Görsel 6). Tüm parsellerde damla sulama sistemi ile düzenli su sağlanmış, bitki besleme ve zirai mücadele uygulamaları aynı şekilde yürütülmüştür.



Görsel 5. a) PV altı turp gelişimi b) Açık alan turp gelişimi c) PV altı patlıcan gelişimi d) Açık alan patlıcan gelişimi

Hasat olgunluğuna ulaşan ürünler belirli aralıklarla toplanmış, ürün verimi taze sebze ağırlığı esas alınarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Ayrıca mahsul miktarı, fide boyu, mahsul boyu ve yaprak boyu parametreleri LER için değerlendirilmiştir. Her yetiştirme sezonu sonunda, AV parseller ile kontrol (açık alan) parsellerinin verim ve gelişim parametreleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.



Görsel 6. AV Deney Sahasının gösterimi

2.2.Verimlik Analiz: Arazi Eşdeğer Oranı (LER)

Bu çalışmada, AV sistemlerin arazi kullanım verimliliği Arazi Eşdeğer Oranı (LER) ile değerlendirilmiştir. LER, birim arazi üzerinde aynı üretimi gerçekleştirmek için gereken monokültür (yalnızca tarım veya yalnızca enerji) alanına kıyasla, entegre sistemin ne kadar verimli olduğunu gösteren bir göstergedir. LER > 1 olması, aynı miktarda ürün ve/veya enerji üretimi için AV sistemin daha az araziye ihtiyaç duyduğunu, yani arazi kullanımında verimlilik artışı sağlandığını ifade eder. LER < 1 olması ise entegre sistemin monokültüre göre daha verimsiz olduğunu gösterir.

Bu çalışmada, patlıcan ve turp için yıllık LER değerleri hesaplanmış; burada PV panel altında elde edilen mahsul miktarı ile açık alanda elde edilen mahsul miktarı, tarımsal ürün verimindeki değişimi temsil etmektedir. Aynı şekilde, AV sistemden elde edilen elektrik üretimi ile aynı konumdaki tam kapasiteli bir GES'in tahmini elektrik üretimi karşılaştırılarak elektriksel verimlilik değerlendirilmiştir. Tüm veriler birlikte analiz edilerek, entegre sistemin toplam arazi verimliliği ortaya konmuştur. Elektrik üretimi verileri ise inverter kayıtlarından aylık olarak alınmıştır.

$$LER = \frac{Y_{tarım(AV)}}{Y_{tarım(AA)}} + \frac{Y_{elektrik(AV)}}{Y_{elektrik(PV)}} \quad (1)$$

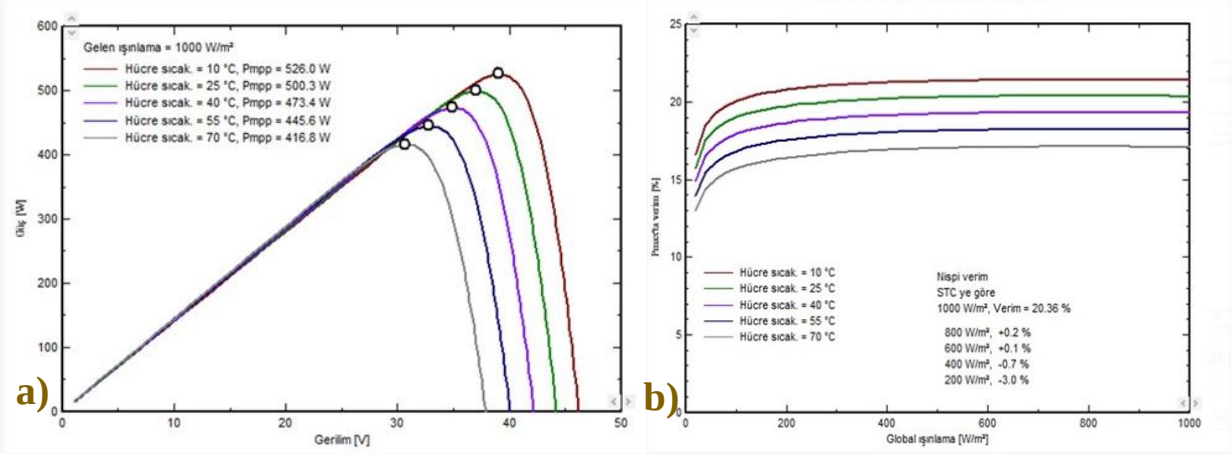
Burada, $Y_{tarım\ (AV)}$ agrivoltaik sistemde elde edilen tarımsal ürün verimini, $Y_{tarım(AA)}$) ise geleneksel (panelsiz) tarımda elde edilen ürün verimini ifade etmektedir. $Y_{elektrik(AV)}$, agrivoltaik sistemde elde edilen elektrik üretimini; $Y_{elektrik\ (PV)}$ ise standart PV santralinde elde edilen elektrik üretimini göstermektedir. Bu oran, tarım ve güneş enerjisinin birlikte entegre edilmesinin arazi verimliliğine katkısını nicel olarak ortaya koymaktadır.

3. TARTIŞMA VE BULGULAR

3.1. Elektriksel Üretim Verileri

Bu çalışmada, AV sistemden elde edilen elektrik üretimi, saha üzerindeki inverter kayıtlarına dayanarak belirlenmiştir. Karşılaştırma amacıyla, aynı koşullarda ve aynı panel tipiyle, sadece elektrik üretimine ayrılmış standart bir PV santralinden elde edilebilecek teorik maksimum üretim hesaplanmıştır. Yapılan ölçümlerde, AV sistemde birim panel başına elde edilen elektrik üretimi 368 W olarak belirlenmiş; aynı koşullarda, gölgeleme ve tarımsal faaliyetlerin olmadığı ideal bir PV santralinde ise bu değer teorik olarak 460W'a ulaşabilmektedir. Yani, AV sistemdeki birim panel başına üretim, standart PV santrale göre yaklaşık %80 düzeyindedir. Bu oranlar, sistemin enerji üretim performansını karşılaştırmalı olarak ortaya koymakta ve LER (Arazi Eşdeğer Oranı) hesaplamasında kullanılmaktadır.

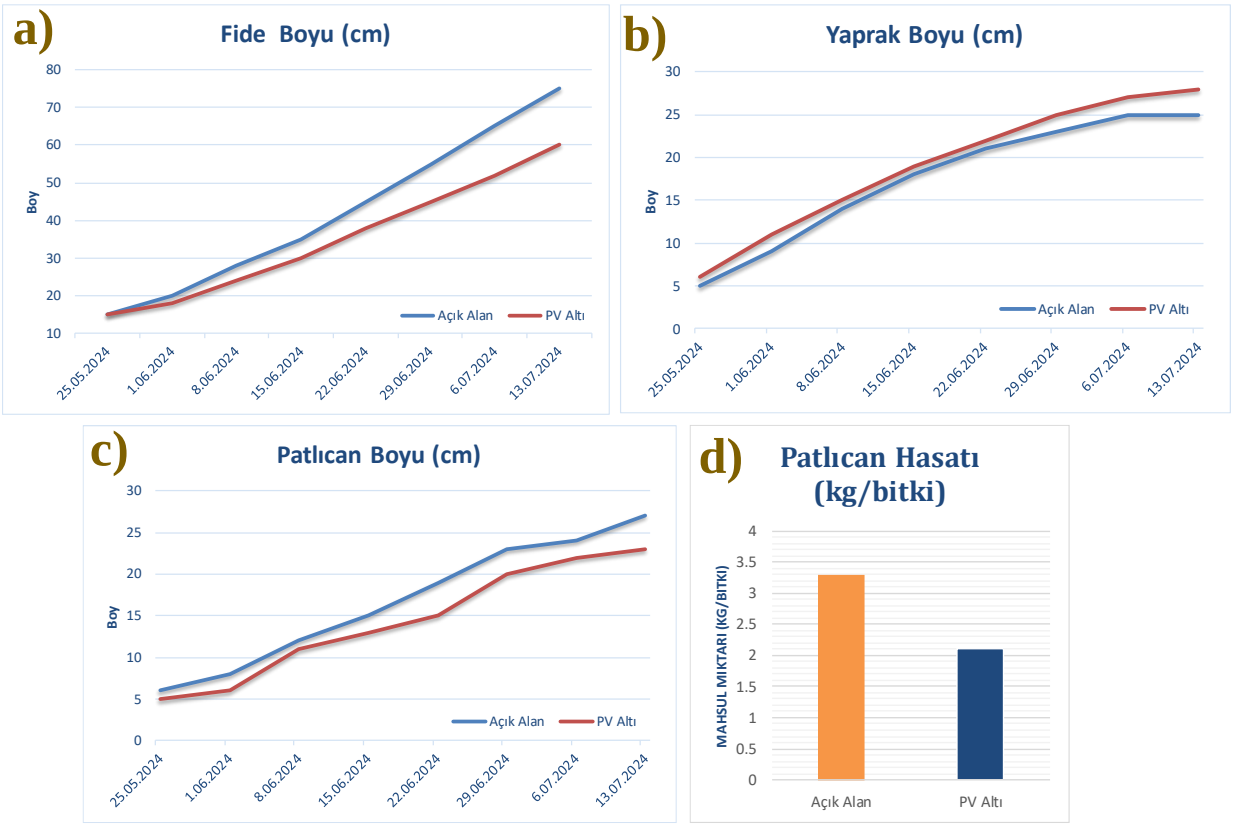
Görsel 7’de, elektriksel üretimin çevresel koşullara ve sistem sıcaklığına duyarlılığını göstermektedir. Görsel 7(a)’da, 1000 W/m^2 ışınım değeri için farklı hücre sıcaklıklarında (10°C - 70°C) PV modülün akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri sunulmuştur. Sıcaklık arttıkça, modülün maksimum güç noktası (Pmp) ve genel verimi belirgin şekilde düşmektedir. Bu durum, AV sistemlerde, özellikle panel altı mikroklima sayesinde panel sıcaklığının düşürülmesi ile elektrik üretiminde kısmi iyileşmeler sağlanabileceğini göstermektedir. Görsel 7(b)’de ise farklı sıcaklıklarda ve ışınım seviyelerinde PV modülün nispi verimi gösterilmektedir. Yüksek sıcaklık ve düşük ışınımda verim kaybı daha belirgin olup, STC (standart test koşulları) altında %20.36 seviyesinde maksimum verime ulaşılabilmektedir. AV sahalarda, tarımsal üretimin panel altındaki toprakta nemi koruyarak ve buharlaşmayı azaltarak panel sıcaklığını düşürdüğü, böylece yaz aylarında elektrik üretim performansını olumlu yönde etkileyebildiği literatürde de vurgulanmaktadır [24,25]. Sonuç olarak, hem saha ölçümleri hem de teknik analizler AV uygulamanın elektrik üretiminde optimum dengeyi sağlamak için dikkate değer avantajlar sunduğunu göstermektedir.



Görsel 7. a) Güç(W) ve gerilim(V) grafiği b) Işınım sıcaklık arasındaki verim farkı

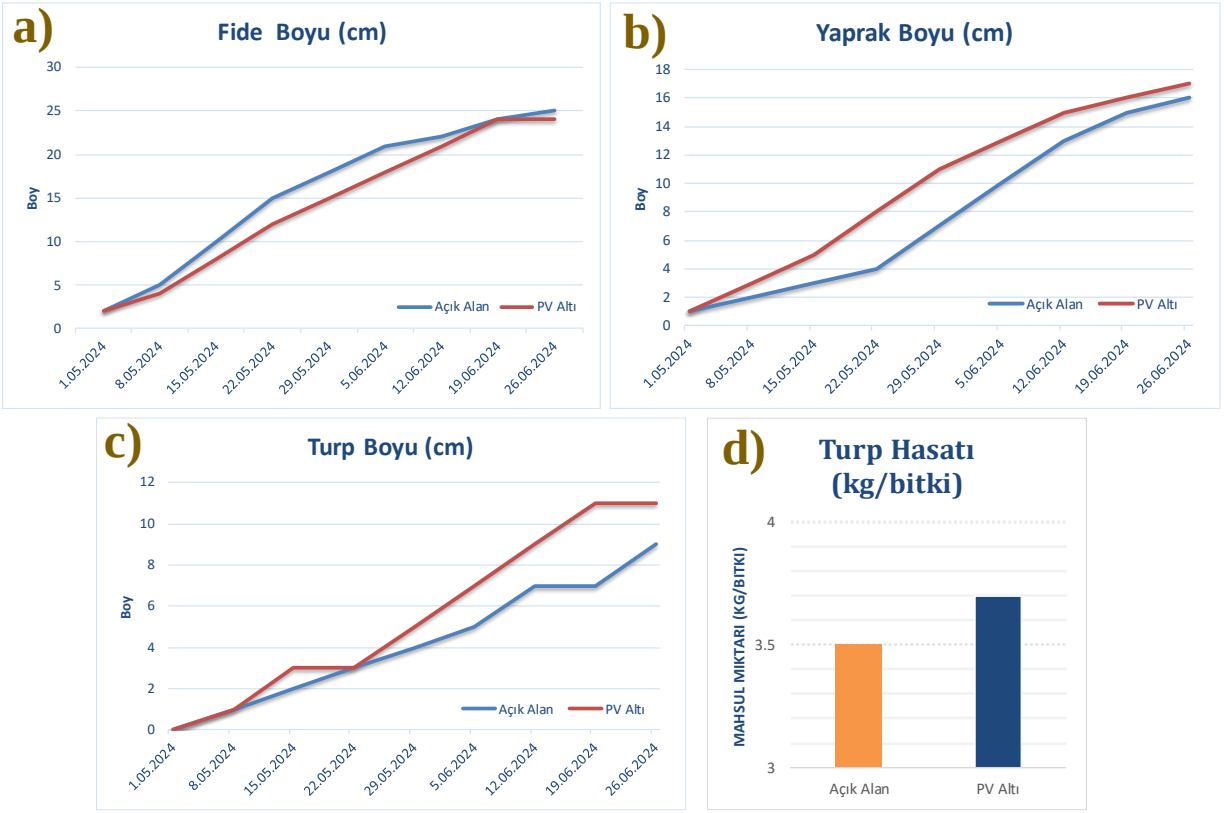
3.2.Tarımsal Üretim Verileri

Görsel 8'de patlıcan bitkisinin AV sistemdeki gelişimi, fide boyu, yaprak boyu, bitki boyu ve mahsul verimi açısından açık alan ve PV panel altı koşullarında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Fide boyu bakımından açık alanda büyüme sezonu sonunda 77 cm'ye ulaşırken, PV altı koşullarda bu değer yaklaşık 60 cm'de kalmıştır; bu da panel gölgelemesinin bitki gelişimini bir miktar yavaşlattığını göstermektedir. Yaprak boyu verilerine bakıldığında, PV panel altındaki patlıcanların sezon sonuna doğru açık alandakilere göre daha uzun yapraklara sahip olduğu, bu durumun ise gölge koşullarında ışık arayışıyla ilişkili olduğu görülmektedir. Bitki boyu açısından da benzer bir eğilim gözlenmiş; açık alanda 27 cm'ye ulaşan patlıcan boyu, PV altında yaklaşık 23 cm ile sınırlı kalmıştır. Mahsul verimi incelendiğinde ise, açık alanda bitki başına ortalama 3.3 kg ürün alınırken, PV panel altındaki patlıcanlarda bu miktar 2.1 kg olarak belirlenmiştir. Genel olarak, panel gölgelemesi büyüme ve verimi azaltmakla birlikte, yaprak morfolojisi üzerinde adaptif değişikliklere ve mikroklimanın olumlu etkilerine yol açmıştır. Buna rağmen, PV altı koşullarda elde edilen ürün miktarı ekonomik olarak hâlâ anlamlı seviyededir ve enerji üretimiyle birlikte değerlendirildiğinde toplam arazi verimliliği (LER) avantajı sürmektedir.



Görsel 8. Patlıcan için açık alan ve PV altının a)Fide boyu b) Yaprak boyu c) Mahsul boyu d)Mahsul miktarı

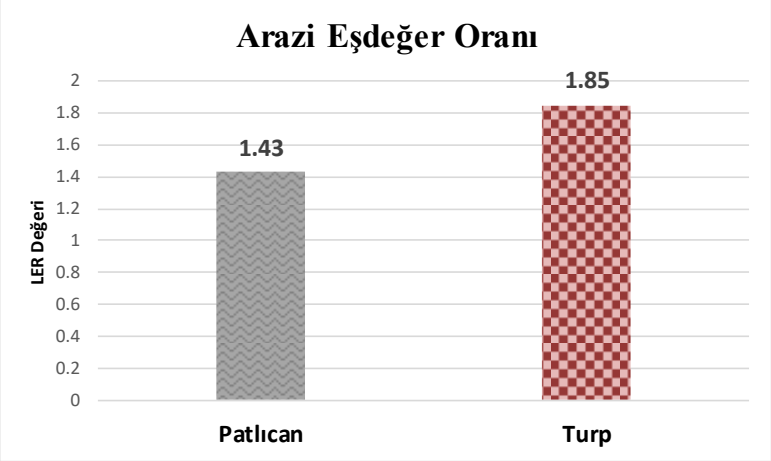
Görsel 9'da turp bitkisinin fide boyu, yaprak boyu, toplam bitki boyu ve hasat verimi, açık alan ve PV panel altı koşullarında karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Fide boyu gelişimi incelendiğinde, sezon boyunca her iki ortamda da büyüme hızlarının benzer olduğu ve dönem sonunda açık alanda 25 cm, PV panel altında ise yaklaşık 24 cm'ye ulaşıldığı görülmektedir. Yaprak boyu verilerine göre, PV panel altındaki turplarda sezon sonu yaprak boyunun 18 cm ile açık alan değerine (yaklaşık 16 cm) göre daha yüksek olduğu saptanmıştır. Toplam turp boyu açısından, sezon sonunda PV panel altında yetiştirilen bitkilerin 11 cm'ye ulaştığı, açık alanda ise bu değerin 9 cm'de kaldığı belirlenmiştir. Hasat edilen mahsul miktarlarında da benzer bir eğilim gözlenmiş; PV panel altında yetiştirilen turpların bitki başına ortalama 3.7 kg verim sağladığı, açık alanda ise bu değerin 3.5 kg olduğu tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, turp bitkisinin gölge ve mikroklima koşullarında büyüme ve verim açısından PV panel altı ortamda açık alana göre avantaj sağlayabildiğini, AV sistemler için önemli bir alternatif sunduğunu ortaya koymaktadır.



Görsel 9. Turp için açık alan ve PV altının a)Fide boyu b) Yaprak boyu c) Mahsul boyu d)Mahsul miktarı

3.3. LER Analizi

Görsel 10'da LER değerleri, AV sistemlerin toplam arazi verimliliği açısından sunduğu avantajı ortaya koymaktadır. Patlıcan için LER değeri 1.43 olarak hesaplanırken, turpta bu oran 1.85 olarak bulunmuştur. LER > 1 olması, aynı ürün ve elektrik üretimi için gerekli toplam arazi miktarının, ayrı ayrı yapılan tarım ve enerji üretimine göre azaldığını ve sistemin arazi kullanım verimliliğini artırdığını göstermektedir. Özellikle turp bitkisinde LER'in 1.85 gibi yüksek bir değere ulaşması, bu ürünün PV panel gölgesinde dahi yüksek verimle yetişebildiğini ve AV sistemlerin en verimli şekilde kullanılabildiğini göstermektedir. Patlıcan için de 1.43'lük LER değeri, sistemin önemli ölçüde arazi tasarrufu sağladığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, her iki ürün için de AV uygulama, toplam arazi verimliliğini artırmakta ve sürdürülebilir tarım-enerji entegrasyonu açısından büyük avantaj sunmaktadır.



Görsel 10. Patlıcan ve turpa ait LER değerleri

Çizelge 4, farklı ülkelerde ve çeşitli tarımsal ürünlerle yürütülen agrivoltaik (AV) sistem uygulamalarında elde edilen LER değerlerinin karşılaştırmalı bir özetini sunmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda; sabit eğimli, dikey, çift yüzeyli veya izleyicili panellerle üzüm, zerdeçal, pancar, marul, yaban mersini ve zeytin gibi farklı ürünlerin AV koşullarda başarıyla yetiştirilebildiği görülmektedir. LER değerlerinin çoğunlukla 1'in üzerinde olması, tarımsal ve elektriksel üretimin entegre edilmesiyle toplam arazi kullanım verimliliğinin geleneksel tekli sistemlere kıyasla belirgin şekilde arttığını ortaya koymaktadır. Bu bulgular, AV uygulamalarının yalnızca enerji üretimiyle sınırlı kalmadığını, sürdürülebilir tarım pratikleriyle birleştirildiğinde farklı iklim ve ürün koşullarında da önemli avantaj sunduğunu göstermektedir. Özellikle gölgeye toleranslı ürünler veya yarı-gölge koşullarında verimli yetişebilen mahsuller, AV sistemlerde arazi verimliliğini maksimize etmede öne çıkmaktadır. Ayrıca, daha yüksek ışınım alan bölgelerde uygulanan AV sistemlerinin, daha yüksek LER değerleri ile arazi kullanımında ekstra avantaj sağladığı gözlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen LER değerlerinin literatürde raporlanan bulgularla uyumlu olması, AV uygulamalarının Van ili gibi yüksek ışınım potansiyeline sahip bölgelerde etkin ve sürdürülebilir bir çözüm sunduğunu desteklemektedir.

Çizelge 4. Literatürdeki yapılan benzer çalışmalara ait LER karşılaştırması

Yazar	Yer	Mahsul	Panel Özellikleri	LER Değeri
Bu Çalışma	Türkiye	Patlıcan	Sabit açılı ve çift yüzeyli (bifacial)	1.43
		Turp		1.85
Giri & Mohanty (2022) [17]	Hindistan	Zerdeçal	Çift yüzeyli	1.42
Padilla ve diğerleri (2022) [26]	İspanya	Üzüm	Sabit dikey, tek ve çift yüzeyli	1.27-1.5
Kostik ve diğerleri (2020) [27]	Rusya	Pancar ve marul	Sabit eğimli	1.45-1.7
Katsikogiannis ve diğerleri (2022) [15]	ABD (Boston)	Yaban mersini	Sabit eğimli, dikey ve hareketli	1.5
Casares de la Torre ve diğerleri. (2022) [13]	İspanya	Zeytin, Meyve Ağaçları	Yatay eksenli izleyicili	1.29–1.47

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, Van ilinde endüstriyel bir tesis sahasında sabit açılı ve çift yüzeyli PV panellerle yürütülen AV uygulamanın tarımsal üretim ve elektrik üretimi üzerindeki etkileri nicel olarak ortaya konmuştur. Deneme sonuçları, hem elektriksel hem de tarımsal üretim açısından AV sistemlerin uygulanabilir ve avantajlı bir yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Çalışmada elde edilen teknik bulgular özetle şunlardır:

- AV sistemde elektrik üretimi, standart PV santraline göre yaklaşık %80 oranında gerçekleşmiş ve panel altındaki mikroklima koşullarının PV performansı üzerinde olumlu etkisi gözlenmiştir.
- Patlıcan için açık alanda sezon sonunda fide boyu 77 cm'ye, PV panel altında ise 60 cm'ye ulaşmıştır. Turpta ise her iki ortamda fide boyu yaklaşık 25 cm olmuştur.
- Yaprak boyunda PV altı koşullarda açık alana göre belirgin artış görülmüş, patlıcanda 2 cm, turpta ise 2 cm'den fazla uzama kaydedilmiştir.
- Hasat edilen mahsul miktarı, patlıcanda açık alanda ortalama 3.3 kg/bitki, PV altında 2.1 kg/bitki; turpta ise PV altında 3.7 kg/bitki, açık alanda ise 3.5 kg/bitki olarak ölçülmüştür.
- LER analizinde, patlıcan için 1.43, turp için ise 1.85 değeri elde edilmiş, bu da hem ürün hem enerji üretiminin entegre edildiği AV sistemin, toplam arazi verimliliğinde %43 ile %85 arasında artış sağladığını göstermiştir.

Çalışmanın sınırlamaları:

- Denemeler yalnızca bir yıllık yaz sezonunu kapsamakta, farklı iklim yıllarındaki değişkenlikler analiz edilmemiştir.
- Saha büyüklüğü ve ürün çeşitliliği sınırlı tutulmuş; uzun vadeli ekonomik analiz, karbon ayak izi ve toprak iyileşmesi gibi çevresel etkiler kapsam dışı bırakılmıştır.
- Gölgeleme etkisi farklı panel yüksekliği, eğimi veya panel yerleşim yoğunluğunda ayrıca test edilmemiştir.

Gelecekteki çalışmalar için öneriler:

- Farklı ürün çeşitlerinin ve çok yıllık denemelerin entegre edildiği, panel eğimi ve yüksekliğinin optimizasyonunu içeren kapsamlı analizler yapılmalıdır.
- Uzun vadeli ekonomik analiz, karbon salımı, su kullanımı ve toprak sağlığı üzerindeki etkiler ayrıntılı şekilde değerlendirilmelidir.
- Farklı bölgelerde ve çeşitli iklim koşullarında karşılaştırmalı saha uygulamaları ile sonuçların genellenebilirliği artırılabilir.

Referanslar

[1] Chatzipanagi A, Jäger-Waldau A. The European Solar Communication—Will It Pave the Road to Achieve 1 TW of Photovoltaic System Capacity in the European Union by 2030? Sustainability 2023;15:6531. https://doi.org/10.3390/su15086531.
[2] Türkiye'nin Güneş Enerjisi Kurulu Gücü İlk Kez 12 Bin MW'ı Aştı n.d. https://enerji.gov.tr/ (accessed June 12, 2025).
[3] Bexell M, Jönsson K. Responsibility and the United Nations' Sustainable Development Goals. Forum Dev Stud 2017;44:13–29. https://doi.org/10.1080/08039410.2016.1252424.
[4] Widmer J, Christ B, Grenz J, Norgrove L. Agrivoltaics, a promising new tool for electricity and food production: A systematic review. Renew Sustain Energy Rev 2024;192:114277. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114277.
[5] Chopdar RK, Sengar N, Giri NC, Halliday D. Comprehensive review on agrivoltaics with technical, environmental and societal insights. Renew Sustain Energy Rev 2024;197:114416. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114416.
[6] Marino C, Nucara A, Panzera MF, Pietrafesa M. Evaluating direct and diffuse solar radiation components through global radiation measurements from three fixed directions. Energy Convers Manag 2024;315:118741. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118741.
[7] Şentürk B, Kuzyaka D, Yalçın Ö, Akyıldız UM, Eröz M, Özden T. Gıda ve Enerji Üretimini Birleştiren Arazilerde Verimlilik Analizi: Komşuköy Agrivoltaik Çiftlik Modeli. Veriml Derg 2024;58:443–60. https://doi.org/10.51551/verimlilik.1430853.
[8] Şentürk B. Tarımsal Arazilerin İkili Kullanımında Gelir-Gider Analizi: Türkiye TarımGES Örneği. Türk Tarım Ve Doğa Bilim Derg 2023;10:1147–55. https://doi.org/10.30910/turkjans.1351696.
[9] Agostini A, Colauzzi M, Amaducci S. Innovative agrivoltaic systems to produce sustainable energy: An economic and environmental assessment. Appl Energy 2021;281:116102. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116102.
[10] Schindele S, Trommsdorff M, Schlaak A, Obergfell T, Bopp G, Reise C, et al. Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications. Appl Energy 2020;265:114737. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114737.
[11] Dinesh H, Pearce JM. The potential of agrivoltaic systems. Renew Sustain Energy Rev 2016;54:299–308. https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.024.

[12] Neupane Bhandari S, Schlüter S, Kuckshinrichs W, Schlör H, Adamou R, Bhandari R. Economic feasibility of agrivoltaic systems in food-energy nexus context: Modelling and a case study in Niger. Agronomy 2021;11:1906. https://doi.org/10.3390/agronomy11101906.
[13] De La Torre FC, Varo M, López-Luque R, Ramírez-Faz J, Fernández-Ahumada LM. Design and analysis of a tracking/backtracking strategy for PV plants with horizontal trackers after their conversion to agrivoltaic plants. Renew Energy 2022;187:537–50. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.081.
[14] Valle B, Simonneau T, Sourd F, Pechier P, Hamard P, Frisson T, et al. Increasing the total productivity of a land by combining mobile photovoltaic panels and food crops. Appl Energy 2017;206:1495–507. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.113.
[15] Katsikogiannis OA, Ziar H, Isabella O. Integration of bifacial photovoltaics in agrivoltaic systems: A synergistic design approach. Appl Energy 2022;309:118475. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118475.
[16] Zheng J, Meng S, Zhang X, Zhao H, Ning X, Chen F, et al. Increasing the comprehensive economic benefits of farmland with Even-lighting Agrivoltaic Systems. PLoS One 2021;16:e0254482. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254482.
[17] Giri NC, Mohanty RC. Design of agrivoltaic system to optimize land use for clean energy-food production: a socio-economic and environmental assessment. Clean Technol Environ Policy 2022;24:2595–606. https://doi.org/10.1007/s10098-022-02337-7.
[18] Williams HJ, Hashad K, Wang H, Zhang KM. The potential for agrivoltaics to enhance solar farm cooling. Appl Energy 2023;332:120478. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120478.
[19] Sarr A, Soro YM, Tossa AK, Diop L. A new approach for modelling photovoltaic panel configuration maximizing crop yield and photovoltaic array outputs in agrivoltaics systems. Energy Convers Manag 2024;309:118436. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118436.
[20] Mengi E, Samara OA, Zohdi TI. Crop-driven optimization of agrivoltaics using a digital-replica framework. Smart Agric Technol 2023;4:100168. https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100168.
[21] Untitled Page n.d. https://gepa.enerji.gov.tr/pages/65.aspx (accessed June 12, 2025).
[22] Meteoroloji Genel Müdürlüğü n.d. https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=VAN (accessed June 12, 2025).
[23] Global Güneş Radyasyonu - Meteoroloji Genel Müdürlüğü n.d. https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx?il=van (accessed June 12, 2025).
[24] Asa'a S, Reher T, Rongé J, Diels J, Poortmans J, Radhakrishnan HS, et al. A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture. Renew Sustain Energy Rev 2024;200:114515. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114515.
[25] Lama RK, Jeong H. Design and performance analysis of foldable solar panel for agrivoltaics system. Sensors 2024;24:1167. https://doi.org/10.3390/s24041167.
[26] Padilla J, Toledo C, Abad J. Enovoltaics: Symbiotic integration of photovoltaics in vineyards. Front Energy Res 2022;10:1007383. https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1007383.
[27] Kostik N, Bobyl A, Rud V, Salamov I. The potential of agrivoltaic systems in the conditions of southern regions of Russian Federation. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 578, IOP Publishing; 2020, p. 012047. https://doi.org/DOI 10.1088/1755-1315/578/1/012047.

KALDIRIK OTUNDAN (*TRACHYSTEMON ORİENTALİS*) PROTEİN İZOLATI ELDESİ ve ELDE EDİLEN İZOLATIN BAZI YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Merve Eda Eker Özkacar
Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü,
merveedaeker@gmail.com - 0000-0002-4926-4758

Prof. Dr. Sibel Karakaya
Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü,
sibelkarakaya97@gmail.com - 0000-0001-5514-9521

ÖZET

Dünya nüfusunun 2050 yılında yaklaşık 10 milyara ulaşması ve nüfusta görülen bu artışla birlikte gıda talebinin %50'nin üzerinde artması öngörülmektedir. Gıda talebinde gerçekleşmesi beklenen bu artışın karşılanabilmesi, gıda güvencesinin ve güvenliğinin sağlanabilmesi sürdürülebilir gıda ve çevre kaygıları gelecek yüzyılın başlıca sorunları arasında yer almaktadır. Mevcut ve gelecek nesiller için düşük çevresel etki yaratacak sürdürülebilir kaynaklara yönelmemiz oldukça önemlidir. Sürdürülebilir beslenmenin oluşturulmasında özellikle sürdürülebilir protein kaynaklarının yeri tartışılmazdır. Hayvansal proteinlere alternatif olabilecek, sağlıklı, aynı zamanda düşük çevresel etkilere sahip yeni protein kaynaklarının tespit edilmesi ve diyete dahil edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, çalışmamızda Karadeniz Bölgesi'nde yetişen ve geleneksel olarak tüketilen *Boraginaceae* familyasına ait *Trachystemon orientalis (L.)* (kaldırık otu/hodan) bitkisinden protein izolatı elde edilmesi ve bu izolatın bazı yapısal özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Kaldırık otundan izoelektrik çöktürme ile protein izolatı elde edilmiş, ardından doygun amonyum sülfat çözeltisiyle saflaştırılmıştır. Elde edilen izolatta protein miktarı ile dağılabilirlik, ıslanabilirlik, yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk ve renk özellikleri belirlenmiştir. İzolatın protein içeriği %81,35 olarak belirlenmiştir. İzolatın dağılabilirlik, ıslanabilirlik, yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk ve renk gibi yapısal özellikleri belirlenmiştir. Dağılabilirlik %37,96, ıslanabilirlik ise 9,27 ± 0,54 s/0,1 g toz olarak tespit edilmiştir. Yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri sırasıyla 0,76 ve 0,91 g/cm^3 olarak belirlenmiştir. Renk değerleri ise L*=33,12 ± 0,006, a*=5,72 ± 0,029, b*=13,95 ± 0,022 olarak saptanmıştır. Bu özellikleri ile kaldırık otu protein izolatı bitkisel bir protein kaynağı olarak farklı proteinleri ikame edebilme potansiyeli olan yeni bir protein kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: izoelektrik çöktürme, protein saflaştırma, bitkisel protein, sürdürülebilir beslenme

ABSTRACT

It is projected that the world population will reach approximately 10 billion by the year 2050, and with this increase, global food demand is expected to rise by over 50%. Addressing this anticipated surge in food demand, ensuring food security and safety, sustainable food and environmental concerns are among the most pressing challenges of the coming century. Therefore, it is of great importance to shift toward sustainable resources that exert minimal environmental impact for the benefit for the current and future generations. In the development of sustainable diets, the role of sustainable protein sources is indisputable. Identifying and incorporating in the diet novel protein sources that are healthy and have low environmental footprints, as alternatives to animal-based proteins, is of vital importance. In this context, the present study aimed to obtain a protein isolate from *Trachystemon orientalis (L.)* (commonly known as "kaldırık otu" or "hodan"), a plant from the *Boraginaceae* family that is traditionally consumed and naturally grows in the Black Sea region of Türkiye, and to determine some of its structural properties. The protein isolate was obtained from the plant via isoelectric precipitation and subsequently purified using saturated ammonium sulfate solution. In the obtained isolate, protein content as well as dispersibility, wettability, bulk density, tapped density, and color properties were determined. The protein content of the isolate was found to be 81.35%. Structural characteristics such as dispersibility, wettability, bulk density, tapped density, and color were evaluated. The dispersibility of the isolate was determined to be 37.96%, while the wettability was measured as 9.27 ± 0.54 s/0.1 g powder. The bulk and tapped density values were 0.76 and 0.91 g/cm³, respectively. The color parameters were determined using a Hunter-Lab colorimeter and L* = 33.12 ± 0.006, a* = 5.72 ± 0.029 and b* = 13.95 ± 0.022 were obtained. Based on these properties, *T. orientalis* protein isolate was evaluated as a novel plant-based protein source with the potential to serve as an alternative to other protein types.

Keywords: isoelectric precipitation, protein purification, plant protein, sustainable nutrition

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun 2050 yılında yaklaşık 10 milyara ulaşması ve nüfusta görülen bu artışla birlikte gıda talebinin %50'nin üzerinde artması öngörülmektedir.

Gıda talebinde gerçekleşmesi beklenen bu artışın karşılanabilmesi, yetersiz beslenmenin ortadan kaldırılması, gıda güvencesinin ve güvenliğinin sağlanabilmesi, sürdürülebilir gıda ve sürdürülebilir çevre kaygıları gelecek yüzyılın başlıca sorunları arasında yer almaktadır (Grosso vd., 2020).

Bugün, sağlıksız ve yetersiz beslenme, küresel hastalık yüküne neden olan ilk on risk faktörü arasındadır. Yeterli ve dengeli beslenme, bireyin sağlıklı büyüme ve gelişmesini sağlamak, yaşam kalitesini yükseltmek, enfeksiyon hastalıklarına karşı korumak ve kronik hastalıkların önlenmesine katkıda bulunmak açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden diyetimize dahil edeceğimiz

gıdaların sağlığımız açısından önemi büyüktür. Diyet, bir birey tarafından tüketilen ve gıda sistemi tarafından sağlananlar arasından seçilen bir gıda seçimidir. Ancak diyet sadece bireysel bir gıda seçiminden ibaret değildir. Aynı zamanda uygulanan diyetlerin tamamı gıda sistemlerini yönlendiren genel gıda talebini yaratmaktadır. Diyetimize dahil edeceğimiz gıdalar sadece bireysel sağlığımız açısından değil bu gıdalara erişimin ve gıdaların tüketiminin yarattığı çevresel ve ekonomik etkiler açısından da büyük önem taşımaktadır. Mevcut ve gelecek nesiller için düşük çevresel etki yaratacak sürdürülebilir gıdalara yönelmemiz oldukça önemlidir. (Donati vd., 2016; Meybeck ve Gitz 2017; Clark vd., 2020; Grosso vd., 2020).

FAO (2012), sürdürülebilir gıdaları mevcut ve gelecek nesiller için sağlıklı yaşama katkıda bulunabilecek düşük çevresel etkilere sahip gıdalar olarak tanımlamaktadır. Bu kapsamda özellikle karbon ayak izini azaltmak amacıyla yöresel, bölgesel ürünlerin üretimi/tüketimi gündeme gelmiştir. Son yıllarda Avrupa Birliği (AB) projeleri kapsamında özellikle Akdeniz Bölgesi'nde kendiliğinden yetişen otlara (wild edible plants) değer kazandırılması ve bunların sürdürülebilir beslenmede yer almasının sağlanmasına yönelik çağrılara yer verilmiştir (PRIMA-MED, 2022). Buradan hareketle çalışmamızda bölgesel bir bitkisel gıda olan kaldırık otundan sürdürülebilir ve alternatif bir protein izolatı elde edilmesi, elde edilen bu izolatın bazı yapısal özelliklerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Böylece bölgesel bir ürün olan bu gıdanın daha katma değerli ürünlere dönüştürülmesi potansiyeli de değerlendirilmiş olacaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan kaldırık otu 2024 yılı Nisan ayında Düzce'den temin edilmiştir. Düzce'nin farklı bölgelerinden toplanan otlar temizlenmiş (farklı ot, çöp, sap vb uzaklaştırılmış), yıkanmış ve nemi alındıktan sonra 45 °C'de %5 ± 0,5 nem değerine ulaşana kadar kurutulmuştur. Kurutulan otlar öğütülmüş, öğütme işlemine kadar kaptığı nemin uzaklaştırılması amacıyla tekrar tepsili kurutucuda nemi %5 ± 0,5 olana kadar tutulmuş sonrasında vakumlanmıştır. Vakumlanmış örnekler analizlerde kullanılana kadar oda sıcaklığında ve karanlık ortamda saklanmıştır.

2.2. Protein İzolatı Eldesi ve İzolatın Protein İçeriğinin Belirlenmesi

Kaldırık otu protein izolatı Akıllıoğlu ve Karakaya (2009) ve Boye vd. (2010) yöntemlerine göre modifiye edilerek elde edilmiş, yapılan ön denemelerle 56 °C, 77 dk ve pH 11'de ekstraksiyon işlem yapılmasına karar verilmiştir.

Ekstraksiyonda; proteinin çözündürülmesi aşamasında protein çözündükten sonra santrifüj ile süpernatantın ayrılmasını takiben kalan pellette tekrar ekstraksiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında birinci ve ikinci aşamada elde edilen süpernatantlar birleştirilmiştir. Daha sonra süpernatanttaki proteinler izoelektrik noktada çöktürülerek ayrılmıştır. Tek ekstraksiyon veya 2 aşamalı ekstraksiyon uygulamasının protein verimi ve protein geri kazanımına etkisi hesaplanmıştır. Bunun için aşağıda verilen denklemler kullanılmıştır (Das vd., 2022)

Protein verimi (%) = ($m_{çökelti}/m_{ot}$)×100

Protein geri kazanımı (%) = (($m_{çökelti}$ ×$p_{çökelti}$)) / (m_{ot}×p_{ot})) × 100

$m_{çökelti}$: protein çökeltisinin kütlesi (g)
$p_{çökelti}$: çökeltideki protein içeriği (%)
m_{ot} : kaldırık otunun kütlesi (g)
p_{ot} :kaldırık otu numunesinin protein içeriği (%)

Tüm bunlara ek olarak, prosese saflaştırma basamağı eklenmiştir. Elde edilen izolat çözündürülmüş ve doygun amonyum sülfat çözeltisiyle ortamdaki protein çöktürülmüştür. Roe (2001)'e göre eklenecek amonyum sülfat miktarı belirlenmiştir. 5 g protein izolatına distile su eklenip NaOH ile pH 11'e son hacim 100 mL olacak şekilde ayarlanmış, daha sonra 10000 g'de 25 dk santrifüjlenmiş ve supernatant ayrılmıştır. Ayrılan supernatant 1. Aşamada %40 amonyum sülfat doygunluğuna gelecek şekilde amonyum sülfat eklenerek 2 saat karıştırılmış, ardından %90 amonyum sülfat doygunluğuna gelecek şekilde amonyum sülfat eklenerek 1 saat daha karıştırılarak bekletilmiş ve 12000 xg'de 25 dk santrifüjlenmiştir. Elde edilen çökeltideki amonyum sülfat diyaliz ile uzaklaştırılmış ve kalan çökeltide Kjeldahl yöntemiyle protein tayini yapılmıştır.

2.3. İzolatın Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi

2.3.1. Renk Analizi: Toz haldeki izolatın L*, a* ve b* değerleri Hunter-Lab kolorimetresi Colorflex model renk ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. L * (0=siyah, 100=beyaz), a * (+değer =kırmızı, -değer =yeşil) ve b* (+değer = sarı, -değer =mavi) değerleri kaydedilmiştir (Hunter, 1975).

2.3.2. Dağılabilirlik Ölçümü

Protein izolatının dağılabilirlik analizi için önce 50 mL'lik behere 10 mL saf su (25 °C) konulup üzerine 1 g toz örnek eklendikten sonra beher çapının tamamı boyunca ileri geri 25 tam hareket yapacak şekilde 15 saniye boyunca bir kaşıkla kuvvetlice karıştırılmıştır. Ardından elde edilen karışım 212 µm'lik elekten süzülüp, süzüntüden 1 mL örnek alınmıştır. Darası bilinen kurutma kabına alındıktan sonra 4 saat boyunca 105 ± 1 °C'de kurutulmuştur (Jinapong vd., 2008). Daha sonra aşağıda verilen denklemden dağılabilirlik (%) hesaplanmıştır:

% Dağılabilirlik= ((10 + a) × b)/(a×(100-c)/100))
a: Toz ürün miktarı (1 g)
b: İşlem sonrası süzüntünün % kuru madde değeri
c: Toz ürünün % nem değeri

2.3.3. Islanabilirlik Değerinin Ölçümü

25 ± 1 °C'de 100 ml distile su 250 mL'lik bir behere dökülmüş, beher üzerine, huninin dibi ile su yüzeyi arasındaki yüksekliği 10 cm olacak şekilde, halka ayak üzerinde tutulan bir cam huni

yerleştirilmiştir. Huninin alt açıklığını engellemek için huninin içine bir test tüpü yerleştirilmiştir. Toz numune (0,1 g) test tüpünün etrafına yerleştirildikten sonra tüp kaldırılırken aynı anda kronometre çalıştırılmış ve tozun tamamen ıslanması için geçen süre kaydedilmiştir (Jinapong vd., 2008).

2.3.4 Yoğunluk ve Sıkıştırılmış Yoğunluk Ölçümü

Protein izolatı, 100 mL'lik darası alınmış dereceli silindire 100 mL işaretine kadar eklenmiş ve tartım alınmıştır. Doğrudan silindirden okunan hacim daha sonra kütle/hacim ilişkisine göre yığın yoğunluğunu (g/cm^3) hesaplamak için kullanılmıştır. 100 mL'lik mezüre aktarılmış olan toz örneğe yaklaşık 100 kez sabit kuvvet uygulanmış ve örneğin kapladığı son hacim kaydedilerek sıkıştırılmış yığın yoğunluğu g/cm^3 hesaplanmıştır (Jinapong vd., 2008).

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Protein İzolatı Eldesi ve İzolatın Protein İçeriğinin Değerlendirilmesi

Uygulanan klasik alkali ekstraksiyonu ve izoelektrik çöktürme yöntemiyle %19,23 oranında protein elde edilmiştir. Hedeflenen protein miktarına ulaşılamamıştır.

Ekstraksiyonda; protein izolatı eldesinde tek ve iki aşamalı ekstraksiyonun protein verimi ve protein geri kazanımına etkileri değerlendirilmiştir. Tek ekstraksiyonda protein verimi %23,93 geri kazanımı ise %31,05, iki aşamalı ekstraksiyonda ise protein verimi %30,34, geri kazanımı ise %38,62 olarak saptanmıştır.

Saflaştırma prosesi sonrası elde edilen izolatın protein miktarı %81,35 olarak belirlenmiştir.

3.2. İzolatın Yapısal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Renk analizinde elde edilen L*, a*, b* değerleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. İzolatın renk özellikleri

	L*	**a***	**b***
İzolat	33,12 ± 0,006	5,72 ± 0,029	13,95 ± 0,022

Renk analizinde L* değeri koyuluk-parlaklık (0=siyah, 100=beyaz), a* değeri kırmızılık (+değer =kırmızı, -değer =yeşil) ve b* değeri ise mavilik (+değer= sarı, -değer =mavi) şeklinde ifade edilir (Hunter, 1975). Kaldırık otu proteini için elde ettiğimiz bu değerler, sıklıkla kullanılan soya (L*=85,2; a*=5,1; b*=20,5) ve bezelye (L*=87,9; a*=1,5; b*=15,91) protein konsantreleri (Toews ve Wang., 2013) karşılaştırıldığında elde edilen izolatın bezelye ve soya proteini konsantrelerine göre daha koyu olduğu, kırmızılığın soya protein konsantresi ile benzerlik gösterdiği ancak bezelye protein konsantresinden daha fazla olduğu, sarılığın ise soya ve bezelye proteini konsantrelerine göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Yoğunluk, sıkıştırılmış yoğunluk, dağılabilirlik ve ıslanabilirlik değerleri ise Çizelge 2.'de ki gibidir.

Çizelge 2. İzolatın fizikokimyasal özellikleri

	Yoğunluk (g/cm^3)	**Sıkıştırılmış Yoğunluk (g/cm^3)**	**Dağılabilirlik (%)**	**Islanabilirlik (s/0,1 g toz)**
İzolat	0,76 ± 0,024	0,91 ± 0,026	37,96 ± 1,63	9,27 ± 0,54

Toz ürünlerin ambalajlanması, depolanması ve taşınması açısından yığın ve sıkıştırılmış yığın yoğunluğu önemli parametrelerdir (Dirim vd., 2015). Yoğunluk ve sıkıştırılmış yoğunluk değerleri sırasıyla 0,76 ve 0,91 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Literatürde farklı konsantrasyonlarda soya sütü konsantresi ile yapılan bir çalışmada yoğunluk 0,21 g/cm^3 yığın yoğunluğu 0-31-0,35 g/cm^3 olarak belirtilmiştir (Jjinapong vd., 2008). Bu farklılıkların hammaddenin kimyasal özellikleri, kurutma yöntemi vb. parametrelerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Islanabilirlik, protein tozları sulu içecekler ve hamurların formülasyonunda kullanılması durumunda çok önemli bir özelliktir. Proteinlerin ıslanabilirliği, yüzey polaritesi, topografya, doku, alan ve protein parçacıklarının boyutu ve mikro yapısı tarafından etkilenmektedir. Islanabilirlik toz ürünün ambalajlama ve sulandırılma özellikleri hakkında bilgi sağlar (Sharma vd., 2016; Akyüz ve Ersus, 2021). Literatürde toz ürünler için iyi bir ıslanabilirliğin 10 gram toz ürün için 120 saniyenin altında ıslanma süresinin olması şeklinde tanımlanmıştır (Schuck vd., 2012). Kaldırık otundan elde ettiğimiz protein izolatının ıslanabilirlik değeri 9,27 ± 0,54 s/0,1 g toz olarak bulunmuştur. Bu kapsamda elde edilen izolatın ıslanabilirlik özelliğinin iyi olduğu söylenebilir.

Dağılabilirlik toz ürünlerde sıklıkla incelenen bir parametredir. Proteinin suda dağılabilirliği, yeniden oluşturulabilirliğini göstermektedir. Islanabilirlikte olduğu gibi, bu özellik de toz ürünün ambalajlama ve sulandırma özellikleri hakkında bilgi vermektedir (Akyüz ve Ersus, 2021). Literatürde toz ürünün iyi bir dağılabilirliğinin olması için %95'ten büyük bir dağılabilirlik indeksine sahip olması gerektiği belirtilmektedir (Schuck vd., 2012). Çalışmamızda protein izolatı için elde ettiğimiz dağılabilirlik değeri %37,96'dır ki bu proteinin dağılabilirlik özelliğinin iyi olmadığını ifade etmektedir. Ancak bu değerin sodyum sülfit kullanılarak yükseltilmesi mümkündür (Sowdhanya vd., 2024).

Sonuç olarak, kaldırık otundan %80 protein içeriğinin üzerinde protein izolatı eldesinin mümkün olduğu görülmüştür. Bu izolatın yapısal özellikleri ürünün bir çok alanda kullanıma uygun olduğu duyusal olarak kabul görmesi durumunda pek çok farklı gıdada (hazır çorbalar, proteince zenginleştirilen sporcu ürünleri, medikal beslenmede kullanılan öğün yerine geçen içecekler, kurabiye, kraker vb. atıştırmalık ürünler) kullanım olanağının mümkün olduğu düşünülmektedir. Bu anlamda kaldırık otu protein izolatının katma değerli ürünlere dönüşebileceği ve pek çok farklı alanda değerlendirebileceğini söylemek mümkündür.

Ayrıca, bu çalışmaya TÜBİTAK 1001 projesi kapsamında 223O233 proje numarası ile destek veren TÜBİTAK Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Başkanlığı'na teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Grosso, G., Mateo, A., Rangelov, N., Buzeti, T., Birt, C. Nutrition in The Context of The Sustainable Development Goals, European Journal of Public Health, March, 30(Supplement_1), i19-i23, 2020.

Meybeck, A., Gitz, V. Sustainable Diets Within Sustainable Food Systems, Proceedings of the Nutrition Society, February, 76(1), 1-11, 2017.

Donati, M., Menozzi, D., Zighetti, C., Rosi, A., Zinetti, A., Scazzina, F. Towards a Sustainable Diet Combining Economic, Environmental and Nutritional Objectives, Appetite, November, 106, 48-57, 2016.

Clark, M., Macdiarmid, J., Jones, A.D., Ranganathan, J., Herrero, M., Fanzo, J. The Role of Healthy Diets in Environmentally Sustainable Food Systems, Food and Nutrition Bulletin, December, 41(2_suppl), 31S-58S, 2020.

https://www.fao.org/fileadmin/templates/food_composition/documents/upload/i3022e.pdf (Erişim tarihi: 04.06.2025)

https://prima-med.org/wp-content/uploads/2022/01/4.-PRIMA2022_Infoday-Day_Agrofood-Mohamed.pdf (Erişim tarihi: 05.06.2025)

Akıllıoğlu, H. G., Karakaya, S. Effect of Some Domestic Cooking Methods on Antioxidant Activity, Total Phenols and Total Flavonoid Content of Common Beans, Akademik Gıda, Aralık, 7(6), 6-12, 2009.

Boye, J.I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., Rajamohamed, S.H. Comparison of The Functional Properties of Pea, Chickpea and Lentil Protein Concentrates Processed Using Ultrafiltration and Isoelectric Precipitation Techniques, Food Research International, March, 43, 537-546, 2010.

Das, M., Devi, L. M., Badwaik, L. S. Ultrasound-Assisted Extraction of Pumpkin Seeds Protein and Its Physicochemical and Functional Characterization, Applied Food Research, June, 2(1), 100121, 2022.

Roe, S., *Protein purification techniques: a practical approach (Vol. 244)*, OUP Oxford, 2001.

Hunter, R., *The Measurement of Appearance*, John Wiley & Sons New York, 1975.

Jinapong, N., Suphantharika, M., Jamnong, P. Production of Instant Soymilk Powders By Ultrafiltration, Spray Drying and Fluidized Bed Agglomeration, Journal of Food Engineering, January, 84(2), 194-205, 2008.

Toews, R., Wang, N. Physicochemical and Functional Properties of Protein Concentrates From Pulses, Food Research International, July, 52(2), 445-451, 2013.

Dirim, S. N., Çalışkan, G., Ergün, K. Dondurularak Kurutulmuş Bazı Meyve Tozlarının Toz Ürün Özelliklerinin Belirlenmesi, Gıda, Nisan, 40(2), 85-92, 2015.

Sharma, L., Singh, C., Sharma, H. K. Assessment of Functionality of Sesame Meal and Sesame Protein Isolate From Indian Cultivar, Journal of Food Measurement and Characterization, April, 10, 520-526, 2016.

Akyüz, A., Ersus, S. Optimization of Enzyme Assisted Extraction of Protein From The Sugar Beet (Beta Vulgaris L.) Leaves for Alternative Plant Protein Concentrate Production, Food Chemistry, January, 335, 127673, 2021.

Schuck, P., Jeantet, R., Dolıvet, A. *Analytical methods for food and dairy powders*, John Wiley & Sons, 2012.

Sowdhanya, D., Singh, J., Rasane, P., Kaur, S., Kaur, J., Ercisli, S., Verma, H. Nutritional Significance of Velvet Bean (Mucuna Pruriens) and Opportunities for Its Processing Into Value-Added Products, Journal of Agriculture and Food Research, March, 15, 100921, 2024.

ÜZÜM KABUĞU ANTOSİYANİNLERİ VE BİTKİSEL PROTEİNLER ARASINDAKİ BAĞLAMA KAPASİTESİNİN ARAŞTIRILMASI

Nergis Gizem KIRKHAN

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir-Türkiye

nergiskirkhan@hotmail.com- 0009-0000-3112-9681

Prof. Dr. Sibel KARAKAYA

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir-Türkiye

sibel.karakaya@ege.edu.tr - 0000-0001-5514-9521

ÖZET

Son yıllarda beslenme ve sağlık arasındaki ilişkinin vurgulanması, gıdaya verilen önemin artmasına neden olmuştur. Bu durum, tarımsal ve gıda üretim atıklarından katma değerli biyoaktif bileşiklerin elde edilmesini öncelikli araştırma konularından biri hâline getirmiştir. Bu bileşiklerden biri olan antosiyaninler, hem antidiyabetik, anti-obezite ve anti-inflamatuar gibi sağlık üzerindeki olumlu etkileri hem de doğal renklendirici özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, kırmızı üzüm kabuğundan elde edilen antosiyaninlerin (AC) stabilitesini artırmak amacıyla nohut proteinleri ile kompleks oluşturulmuştur. Protein kaynakları olarak nohut proteini izolatı (NPİ) ve nohut unu (N) kullanılmıştır. Komplekslerde en yüksek bağlanma oranı %65,72 ile NPİ-AC arasında, en düşük bağlanma ise %39,99 ile N-AC arasında gerçekleşmiştir. FTIR spektroskopisi sonuçları, nohut unu proteinlerinde β-tabaka yapısının kısmen α-heliks yapıya dönüştüğünü; nohut proteini izolatında ise kompleks oluşumunun sekonder yapıda belirgin bir değişime neden olmadığını göstermiştir. Oksidatif stabilite testlerinde, NPI-AC kompleksinde zamanla absorbans azalsa da bu azalma serbest AC'ye kıyasla daha sınırlı düzeyde olmuş ve kompleksin antosiyaninleri kısmen koruduğu belirlenmiştir. N-AC kompleksinde en düşük absorbans kaybı, nohut ununun oksidasyona karşı en yüksek koruyuculuğu sağladığı şeklinde yorumlanmıştır. CUPRAC yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite değerleri, serbest AC örneğinde 411,1 mg TE/g ile en yüksek düzeyde bulunmuş; bu değer NPİ-AC ve N-AC komplekslerinde sırasıyla 33,17 ve 24,78 mg TE/g olarak ölçülmüştür.

Sonuç olarak, nohut proteinleriyle oluşturulan antosiyanin komplekslerinin, antosiyaninlerin oksidatif stabilitesini artırarak biyolojik faydalarının korunmasına katkı sağladığını söylemek mümkündür.

Anahtar kelimeler: CUPRAC, protein bağlanma kapasitesi, FTIR, nohut proteini

EVALUATION OF THE BINDING CAPACITIES BETWEEN GRAPE SKIN ANTHOCYANINS AND PLANT PROTEINS

Nergis Gizem Kırkhan

Ege University, Department of Food Engineering, İzmir-Türkiye

nergiskirkhan@hotmail.com- 0009-0000-3112-9681

Prof. Dr. Sibel Karakaya

Ege University, Food Engineering Department, İzmir-Türkiye

sibel.karakaya@ege.edu.tr-0000-0001-5514-9521

ABSTRACT

In recent years, the emphasis on the relationship between nutrition and health has increased the importance given to food. This has brought the recovery of value-added bioactive compounds from agricultural and food production waste into focus as a priority research area. Among these compounds, anthocyanins attract attention due to their natural colorant properties as well as their beneficial health effects such as anti-diabetic, anti-obesity, and anti-inflammatory activities. In this study, chickpea proteins were used to form complexes with anthocyanins extracted from red grape skins in order to enhance their stability. Chickpea protein isolate (NPI) and chickpea flour (N) were used as protein sources. The highest binding rate was observed in the NPI-AC complex (65.72%), while the lowest was found in the N-AC complex (39.99%). FTIR spectroscopy results showed that β-sheet structures in chickpea flour proteins partially shifted to α-helix structures, whereas the secondary structure of the chickpea protein isolate was not significantly altered by complex formation. In oxidation stability tests, although absorbance decreased over time in the NPI-AC complex, the decline was more limited compared to free anthocyanins (AC), indicating partial protection. The N-AC complex exhibited the lowest absorbance loss, suggesting the strongest oxidative protection. According to the CUPRAC assay, the antioxidant activity of free anthocyanins (AC) was the highest at 411,1 mg TE/g, whereas the NPI-AC and N-AC complexes exhibited lower activities of 33,17 and 24,78 mg TE/g, respectively.

In conclusion, chickpea protein–anthocyanin complexes were found to enhance the oxidative stability of anthocyanins and contribute to the preservation of their functional properties.

Keywords: CUPRAC, protein, binding capacity, FTIR, chickpea protein

1. GİRİŞ

Son yıllarda beslenme ve sağlık arasındaki ilişkinin ortaya konması, gıda endüstrisinde ve toplumda gıda ve beslenmeye atfedilen önemin artmasına neden olmuştur. "Avrupa yeşil mutabakatı", "Gıda 2030", "Ufuk Avrupa" ve "TÜBİTAK 2022-2023 Ar-Ge ve Yenilik konu başlıkları" tarımsal atıklar ve gıda üretim atıklarından katma değerli biyoaktif bileşiklerin üretimine öncelikleri arasında yer vermiştir. Bu kapsamda elde edilen biyoaktif bileşiklerden biri hem sağlık üzerine olumlu etkileri (antidiyabetik etki, potansiyel anti-obezite etkisi, anti-inflamatuar etki vb.) hem de doğal renklendirici özelliği nedeniyle antosiyaninlerdir.

Bir klinik çalışma, siyanidin 3-O-glukozit de dahil olmak üzere 320 mg/kg/gün antosiyanin içeren bir diyetin insanlar tarafından tolere edilebildiğini ve inflamatuar yanıtlara karşı faydalı olduğunu göstermiştir. Buna ek olarak, günlük diyetle 7,5 mg antosiyanin alımının tip 2 diyabet geliştirme riskini %5 azaltacağını göstermiştir (Bartel vd., 2023). Antosiyaninlerin sağlık etkileri üzerine yapılmış gözlemsel çalışmalar ve kontrollü klinik çalışmaları inceleyen sistematik derleme ve meta analiz çalışmalarının derlendiği bir şemsiye çalışması (umbrella review) diyetle alınan antosiyaninlerin tip 2 diyabet ve hipertansiyon riskinin azaltılmasında etkili olduğunu bildirmiştir.

En az 4 hafta olmak üzere günde 200 ve 400 mg antosiyanin alımının kardiyo-metabolik sağlık üzerine önemli olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca bu çalışma antosiyaninlerin glukoz metabolizması, hiperkolesterolemi ve endotel fonksiyonların güçlendirilmesinde etkili olduğunu belirtmiştir (Sandoval-Ramírez vd., 2022).

Diyabet, hiperglisemi ile karakterize edilen ve dünyanın birçok ülkesinde halk sağlığını tehdit eden kronik bir metabolik hastalıktır. Son birkaç yılda hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde diyabet hastalarının sayısı hızla artmaktadır. Günümüzde akarboz, vogliboz ve miglitol gibi oral antidiyabetik ajanlar hiperglisemi tedavisinde en iyi bilinen terapötik ilaçlardır (Miao vd., 2021). Ancak klinik çalışmalar, akarbozun genellikle şişkinlik, ishal, karın şişliği ve mide bulantısı gibi yan etkilerle sebep olduğunu göstermiştir (Dong vd., 2022).

Bazı araştırmacılar, antosiyaninler tarafından nişasta sindirim enzimlerinin (α-amilaz ve α-glukozidaz) aktivitesinin engellendiğini bildirmişlerdir. Nişasta-antosiyaninler ortamındaki serbest antosiyaninler de nişasta sindirim enzimlerinin enzim aktivitelerini düşürerek nişasta sindirim hızının azalmasına katkıda bulunmuştur (Miao vd., 2021).

Karbohidrat sindirim enzimlerinin inhibisyonu, postprandial glisemi düzeylerini düşürmesi nedeniyle, hiperglisemi ve Tip 2 diyabet ile ilişkili metabolik değişikliklere karşı koymanın yanı sıra geç diyabetik komplikasyonların başlamasını önlemeye yardımcı olmak için en iyi terapötik stratejilerden biridir. Birçok çalışma, antosiyaninlerin veya antosiyanin açısından zengin gıda tüketiminin yararlı olduğunu ve α-amilaz ve α-glukozidaz enzimlerinin etkili inhibisyonunun yanı sıra glukoz taşınmasına müdahale ederek postprandiyal glisemiyi baskıladığını göstermiştir (Oliveira vd., 2020). Ancak antosiyaninlerin etkisi doğal renklendirici veya fonksiyonel bileşen olarak kullanılsalar bile insan vücudundaki biyoerişilebilirlik ve biyoyarayışlılıklarına bağlıdır (Wu vd., 2023).

Özellikle antosiyanin içeren nutrasötiklerin ve antosiyanin içeren ve/veya antosiyanin eklenmiş fonksiyonel gıdaların sağlık üzerine etkilerinin değerlendirilmesinde antosiyanin biyoerişilebilirliği ve biyoyarayışlılığı önemlidir. Antosiyanin tüketiminin, çeşitli metabolik iz yollarıyla insülin direncini ve insülin sekresyonunu önleyerek antidiyabetik etkiye sahip olduğu bilinse de bu etki başta biyoerişilebilirliği/biyoyarayışlılığı olmak üzere çok sayıda faktöre bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Gowd vd., 2020). Bu faktörler arasında antosiyanin stabilitesini dolayısıyla biyoerişilebilirliğini etkileyen pH, kimyasal yapı, sıcaklık, pigment konsantrasyonu, ışık, oksijen varlığı, enzim varlığı, diğer bileşenlerle (metal iyonları, fenolik bileşikler vb.) interaksiyon gibi etkiler yer almaktadır (Castañeda-Ovando vd., 2009).

Antosiyaninler, orta polariteli antosiyanin molekülleri ile prolin açısından zengin proteinler arasındaki doğal çekim nedeniyle, bir gıda matrisindeki proteinlere kendiliğinden bağlanabilmektedir (Wu vd., 2023). Proteinler ve antosiyaninler arasında doğal bir yakınlık vardır. Antosiyanin açısından zengin gıdalar, gıdanın işlenmesi aşamasında yüksek sıcaklık, yüksek basınç ve pH gibi zorlu ortamlardan kolayca etkilenebilir ve bu da genellikle antosiyaninin stabilitesinde azalmaya neden olur. Antosiyaninlerin bitki proteinine dahil edilmesi, antosiyanin-protein komplekslerinin oluşmasına yol açar. Böylelikle bitki proteini ve antosiyaninler arasındaki kovalent ve kovalent olmayan etkileşimler, antosiyaninlerin bozulmasını önleyebilir (Zang vd., 2022). Son yıllarda gıda endüstrisi, sağlıkla ilgili antosiyaninler ve sağlıklı proteinler içeren fonksiyonel gıdalar ve nutrasötikleri formüle etmek için bu stabil bağlanma özelliğinden daha fazla yararlanmaktadır. Diyetteki proteinlere bağlanan antosiyaninler, gelişmiş oksidatif, renk ve termal stabilite ve raf ömrü sergileme ve bağırsak sindirimi süreci sırasında bozulmadan daha iyi korunma eğilimindedirler (Wu vd., 2023).

Günümüzde tarımsal ve gıda üretim atıklarından katma değerli biyoaktif bileşiklerin elde edilmesi öncelikli araştırma konularından biri hâline getirmiştir. Bu bileşiklerden biri olan antosiyaninler, hem antidiyabetik, anti-obezite ve anti-inflamatuar gibi sağlık üzerindeki olumlu etkileri hem de doğal renklendirici özellikleri nedeniyle dikkat çekmektedir.

Antosiyaninlerin gıda işleme, depolama ve sindirim sırasında stabilitelerinin korunması için birçok taşıyıcı sistemler önerilmekle birlikte son yıllarda antosiyaninlerin proteinlerle kolaylıkla kovalent olmayan bağ yapabilme özellikleri nedeniyle antosiyanin-protein kompleksleri bu öneriler arasında ilk sıralarda yerini almıştır.

Bu proje ile bilim dünyasında antosiyaninlerin düşük stabilitesine ilişkin problemin çözümüne yönelik kapsamlı bir yaklaşımın sunulması hedeflenmiştir. Bu kapsamda kırmızı üzüm kabuğundaki antosiyaninler ile nohut proteinleri arasında kompleks oluşturulmuş, komplekslerin bağlanma yüzdeleri incelenmiş ve oksidasyon stabilitesi ve antioksidan aktivitesi belirlenmiştir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Gereç

2.1.1. Malzemeler

Antosiyanin eldesinde siyah üzüm (*Vitis vinifera*) kabuğu kullanılmıştır. Üzüm, İzmir ilindeki yerel pazardan alınıp kabukları ayrılmıştır. Nohut unu internet üzerinden (İpek Değirmen markası) satın alınmıştır.

Analizlerde kullanılan tüm kimyasal malzemeler Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nden temin edilmiş olan analitik saflıktaki kimyasal malzemelerdir.

2.2. Yöntemler

2.2.1. Antosiyaninlerin Üzüm Kabuğundan Ekstraksiyonu

Ekstraksiyon Wang vd., (2016)'ne göre bazı modifikasyonlar yapılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyondan hemen önce, dondurulmuş posa rondo kullanılarak homojenize edilmiştir. Homojenize üzüm cibresi %70'lik metanol çözeltisi ile 50 mL'lik santrifüj tüplerinde 1:10 katı-çözgen oranında karıştırılmıştır. Karışım 35 kHz ultrasonik su banyosunda (Bandalin Sonorex Digiplus DL 512 H, 35 kHz, 30 °C ve 20 dakika) bekletilmiştir. Ultrases sonrası karışım 10.000 g'de 4 C'de 15 dakika santrifüjlenmiş (Thermo Scientific IEC Cl312, Almanya) ve süpernatanttaki metanol vakumlu döner evaporatör (Fischer Scientific Heidolph™ Hei-Vap Value, ABD) aracılığıyla uzaklaştırılmıştır.

2.2.2. Nohut Proteini İzolatı Eldesi

Nohut proteini izolatı eldesi Karaca vd., (2011)'e göre bazı modifikasyonlarla gerçekleştirilmiştir. 100 g nohut unu 1:10 oranında saf su ile karıştırılmış ve karışımın pH'ı 1M NaOH kullanılarak 9'a ayarlanmıştır. Karışım 4000 g'de ve 4°C'de 20 dakika boyunca santrifüjlenmiştir. Ardından süpernatantlar toplanmış ve proteinleri çöktürmek amacıyla pH 4,6'ya ayarlanmıştır. Pelet sonraki analizlerde kullanılmak üzere dondurarak kurutulmuştur.

2.2.3. Protein Tayini

Nohut unu ve elde edilen nohut proteini izolatının protein içeriği Kjeldahl metodu ile belirlenmiştir (AOAC, 1990). Toplam azotu proteine dönüştürmek için 6,25 faktörü kullanılmış ve protein miktarı aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$\%\ Azot = \frac{(S_{Kör} x\ F\ x\ 0{,}0014\ x\ 100)}{Örnek\ miktarı}$$

F: HCl çözeltisinin faktörü

S: Titrasyonda sarf edilen HCl hacmi (mL)

$S_{Kör}$: Kör örnekte harcanan HCl hacmi (mL)

2.2.4. Antosiyanin-Protein Kompleksinin Oluşturulması

Kompleksler, Xiong vd. (2020) ve Zhao vd. (2022) tarafından önerilen yöntemlerde bazı modifikasyonlar yapılarak hazırlanmıştır. Protein kaynağı olarak nohut unu ve nohut proteini izolatı kullanılmıştır. Kompleksleşme, %10 (w/v) oranında protein çözeltisine, w/v oranı 1:9 (1 g protein ve 1,9 mg antosiyanin) olacak şekilde üzüm kabuğu ekstraktı (antosiyanin çözeltisi) ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. Karışım 2 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra 10 dakika boyunca 35 kHz'de ultrasonik su banyosunda tutulmuştur. Komplekslerin oluşumu için karışım 2 gün boyunca buzdolabında bekletilmiş, ardından 20 dakika süreyle 8000×g'de santrifüjlenmiştir. Elde edilen pelet, protein–antosiyanin kompleksini içermekte olup dondurarak kurutulmuştur.

2.2.5. Toplam Antosiyanin Konsantrasyonu

Antosiyanin içeriği, diyod array dedektörü (DAD) ve kolon fırını içeren Agilent Technologies, 1260 HPLC sistemi ile Oh vd. (2008) tarafından gerçekleştirilen HPLC analizinin modifikasyonu ile kantitatif olarak belirlenmiştir.

Kromatografik Koşullar;

- Kromatografik ayrım, Thermo Scientific, Hypersil™ ODS C18 kolonda (4.6 x 250 mm, 5 µm) gerçekleştirilmiştir.
- Kolon sıcaklığı: 35 ºC
- Mobil fazlar: A mobil fazı: formik asit/ ultra saf su (5:95), B mobil fazı: formik asit/ asetonitril (5:95)
- Akış hızı: 1 mL/dk
- Enjeksiyon hacmi 10 µL
- Analiz süresi 60 dk
- Dalga boyu: 520 nm.

Mobil faz gradyanı 0 ila 5 dakika, %5 B; 5 ila 15 dakika, %5 ila %8 B; 15 ila 32 dakika, %8 ila %15 B; ve 32 ila 55 dakika, %15 B; ve 55 ila 60 dakika, %15 ila %5'tir. Toplam antosiyanin miktarı siyanidin 3-*O*-glukozit üzerinden hesaplanmıştır. Bu analiz elde edilecek tüm komplekslere ve kontrol örneğe uygulanmıştır.

Örnekler HPLC'ye verilmeden önce 0.45 µm'lik PTFE filtreden geçirilerek viallere aktartılmıştır. Standart eğrinin oluşturulması amacıyla, siyanidin 3-O-glukozit 0,1 mg/mL derişimde USS-metanol-HCL çözeltisi içerisinde hazırlanmıştır. Çalışma standart çözeltileri, siyanidin 3-O-glukozit stok çözeltilerinden 0.0005, 0.001, 0,01, 0,05 ve 0,1 mg/mL derişimlerine USS-metanol-HCL çözeltisi ile seyreltilerek hazırlanmıştır.

2.2.6. Kompleksin Antosiyanin Bağlama Derecesi

Bağlanma derecesi, kompleksler oluşturulduktan ve santrifüjlenip pelet ve süpernatant ayrıldıktan sonra süpernatantta kalan antosiyanin konsantrasyonu HPLC yöntemi ile tespit edilip ve ardından kompleksleşmeye giren antosiyanin konsantrasyonun oranlanması ile belirlenmiştir. Bu oran

kompleksleşmeye girmeyen antosiyanin yüzdesini ifade eder. Aşağıda verilen denkleme göre hesaplama yapılmıştır.

$$Bağlanma\ Derecesi = 100 - \underbrace{\left(\frac{Kompleks\ oluşumu\ sonrası\ süpernatantta\ kalan\ antosiyanin\ konsantrasyonu}{Başlangıçta\ komplekse\ eklenen\ antosiyanin\ konsantrasyonu}\ x\ 100 \right)}_{\text{Kompleksleşmeye girmeyen antosiyanin yüzdesi}}$$

2.2.7. Oksidasyon stabilitesi

Komplekslerdeki ve kompleks oluşturulmamış antosiyaninin oksidasyon stabilitesi Wang vd., (2010)'a göre bazı modifikasyonlarla gerçekleştirilmiştir. Oksidasyon stabilite analizinde, örneklere %1'lik H_2O_2 eklenmiş ve karanlıkta oda sıcaklığında 1 saat boyunca bekletilmiştir. Her 20 dakikada bir 535 nm'de ölçüm alınmıştır.

2.2.8. Antioksidan Aktivite Tayini

Örneklerin antioksidan aktiviteleri Apak vd., (2008)'e göre belirlenmiştir. Özetle her biri 1 mL olmak üzere sırasıyla bakır (II) çözeltisi, neokuproin çözeltisi ve amonyum asetat tamponu bir tüpe eklenmiş ve ardından, tüpe 0,1 mL örnek ve 1 mL ultra saf su (USS) ilave edilerek karışım vortekslenmiştir. Karışım oda koşullarında ağzı kapalı olarak 30 dakika bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda, içinde örnek bulunmayan referans çözeltisine karşı 450 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülüp kaydedilmiştir.

Standart eğrinin oluşturulması amacıyla, Troloks (TR) antioksidan bileşiği 1 mg/mL derişimde etanol içerisinde hazırlanmıştır. Standart çözeltileri, TR stok çözeltilerinden günlük olarak 0.1, 0.2, 0.5, 0.6, 0.8, 1 mg/mL derişimlerine etanol ile seyreltilerek hazırlanmıştır.

2.2.9. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi

Komplekslerin ve kompleks oluşturulmamış AC'nin kızılötesi spektrumu ATR-FTIR spektrometresi (PerkinElmer FTIR Spectrometer Spectrum Two, ABD) ile belirlenmiştir. Spektral aralık, 4 cm^{-1} çözünürlük ve 20 tarama frekansı ile 400–4000 cm^{-1} aralığındadır. Her spektrum arka plan hava spektrumuna karşı sıfırlanmıştır.

2.2.10. İstatistiksel Analiz

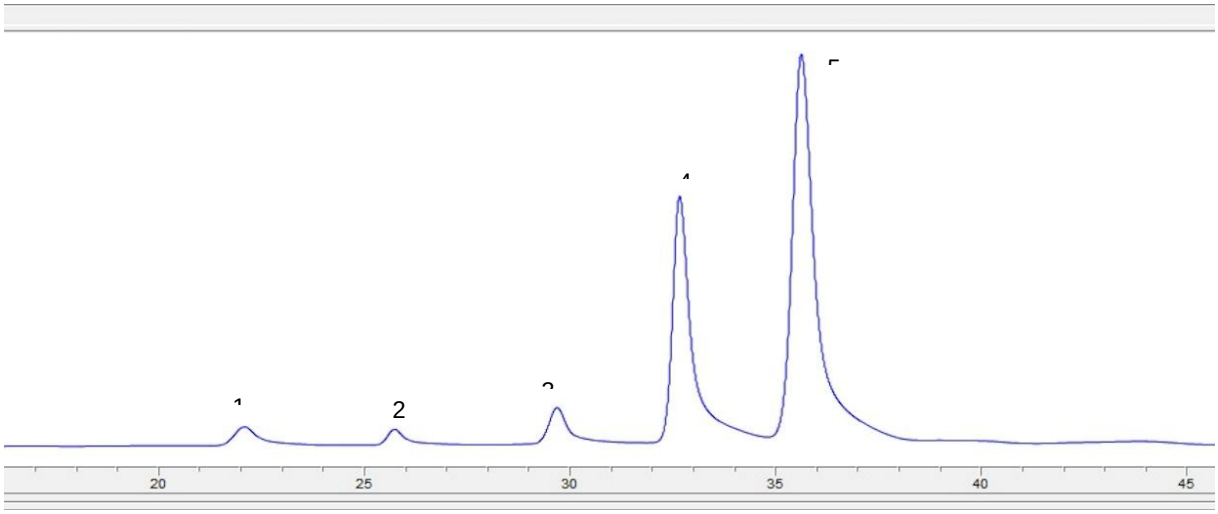
Verilerin istatistiksel analizi SPSS Stastics 20 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Veriler bağımsız örneklem t-testi ve ikiden fazla grup içeren bağımsız değişkenler için Tukey post-hoc testi ile varyans analizi (ANOVA) ile analiz edilmiştir. Anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak belirlenmiştir. Sonuçlar ortalama ± standart sapma (SD) olarak raporlanmıştır.

3. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

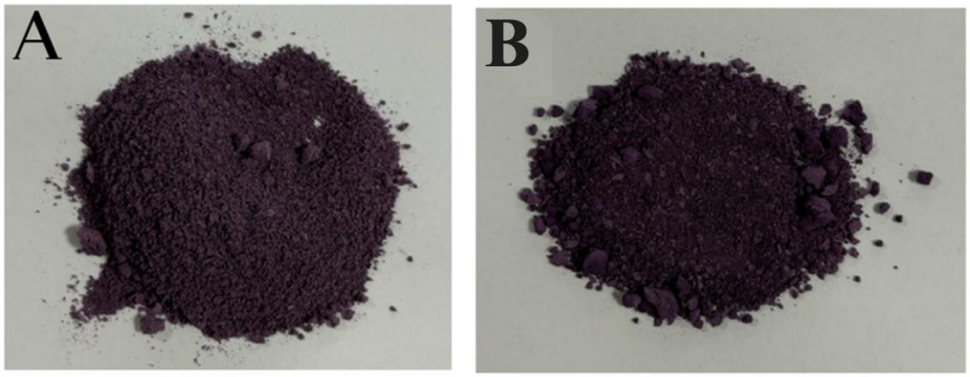
3.1. Üzüm Kabuğunun Antosiyanin Miktarı ve Protein-Antosiyanin Kompleksleri

Üzüm kabuğundaki toplam antosiyanin miktarı siyanidin 3-O-glukozit cinsinden 439,25 ± 26,01 mg/100g olarak saptanmış ve baskın flavonoidin siyanidin 3-O-glukozit olduğu belirlenmiştir (Görsel 1).

Elde edilmiş olan protein-antosiyanin komplekslerinin fotoğrafları Görsel 2'de yer almaktadır.



Görsel 1. Antosiyanin ekstraktına ait kromatogram. 5) siyanidin 3-0-glukozit.



Görsel 2. Komplekslerin görüntüsü. A) Nohut unu-Antosiyanin Kompleksi (N-AC); B) Nohut proteini izolatı-Antosiyanin kompleksi (NPİ-AC).

Elde edilen komplekslerde antosiyanin bağlanma dereceleri belirlenmiş ve Çizelge 1'de verilmiştir. En yüksek bağlanma %65,72 ± 0,09 ile nohut proteini izolatı ve antosiyanin (NPİ-AC) arasında, en düşük bağlanma ise %39,99 ± 5,38 ile nohut unu ve antosiyanin arasında (N-AC) gerçekleşmiştir (p=0,024). Buna göre 1 gram nohut proteini izolatı 1,27 ± 0,08 mg AC, 1 gram nohut unu 0,78 ± 0,16 mg AC bağlayabilmiştir.

Strauch ve Lila (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı bezelye proteini izolatlarının kızılcık polifenolleri ile oluşturduğu komplekslerde antosiyanin bağlanma oranlarının %12 ile %27 arasında değiştiği rapor edilmiştir. Bu çalışmada, VegOtein N adlı kimyasal olarak modifiye edilmiş bir bezelye proteini izolatının, diğer izolatlara göre %12–27 daha fazla polifenol bağladığı bulunmuştur. Ancak, bireysel antosiyanin türlerinin bağlanması açısından genel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Bu sınırlı farklılık, çalışmada kullanılan kızılcık posası ekstraktının düşük antosiyanin içeriğine bağlanmıştır. Lin vd., (2016), yaban mersininin pektin açısından zengin fraksiyonları ile antosiyaninler, özellikle C3G arasındaki bağlanma etkileşimlerini değişen pH seviyelerinde (2,0 – 4,5) arasında incelemiştir. Suda çözünen (WSF), şelatörle çözünür hale gelen (CSF) ve sodyum karbonat ile çözünen (NSF) fraksiyonlara sahip pektin ile C3G arasındaki bağlanma kapasiteleri araştırılmıştır. Sonuçlar, pektin açısından zengin fraksiyonların antosiyaninleri bağladığını ve serbest antosiyanin içeriğini azalttığını göstermiştir. Ancak, bağlanma derecesi, pH seviyesine ve belirli pektin fraksiyonuna bağlı olarak değişiklik göstermiştir. CSF, düşük pH değerlerinde (2.0–3.6) daha güçlü bir antosiyanin bağlama gösterirken, NSF daha yüksek pH değerlerinde (3.6–4.5) daha iyi bağlanma sergilemiştir. WSF ise genel olarak, CSF ve NSF'ye kıyasla daha az antosiyanin bağlamıştır. Jiang vd., (2019) soya protein izolatı (SPI) ile AC molekülü arasında geçekleşen konjugasyonu yaklaşık %100 düzeyinde bulmuştur. Elde ettiğimiz bağlanma dereceleri ile Jiang vd., (2019) çalışmasında elde edilen konjugasyon yüzdeleri arasındaki fark her iki çalışmada farklı yöntemlerin uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Jiang vd., (2019) SPI-AC konjugasyonu oluşturmak için alkali koşulda oksidasyon geçekleştirerek komplekslerde kovalent bağ oluşmasını sağlamıştır.

Çizelge 1. Kompleksleşme yüzdeleri*

	NPİ-AC	**N-AC**
Protein miktarı (%)	73,18 ± 1,76[a]	21,05 ± 0,15[b]
Bağlanma Derecesi (%)	65,72 ± 0,09[a]	39,99 ± 5,38[b]

*Değerler ortalama ± SD olarak verilmiştir.

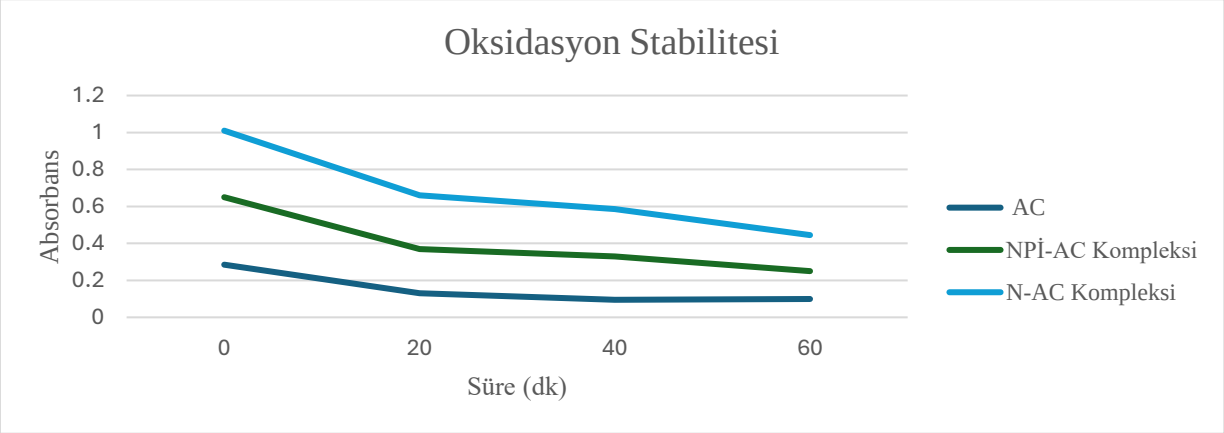
[a-c] Aynı satırdaki farklı harfler $p<0,05$ düzeyinde farklılığı göstermektedir.

3.2. Kompleksin, Antosiyaninlerin Oksidasyon Stabilitesi Üzerine Etkisi

%1'lik H_2O_2 içeren ortamında serbest antosiyanin (AC) ve farklı protein kaynaklarıyla oluşturulan protein-antosiyanin komplekslerinin 60 dakika boyunca zamana bağlı olarak izlenmiş oksidatif stabilitesi gösterilmiştir. Oksidatif stabilite testi H_2O_2 dışındaki degradasyon reaksiyonlarını elimine etmek için antosiyaninlerin stabil olduğu asidik ortamda (pH 3,0) gerçekleştirilmiştir. Antosiyanin oksidasyonunun artması absorbans değerinde azalma ile ilişkilidir. H_2O_2 içeren ortamda antosiyaninlerin stabilitesinin etkilendiği görülmüştür. Aynı zamanda, antosiyanin çözeltisinin absorbansı hidrojen peroksite maruz kalınan zamanın artmasıyla azalmış ve çözeltinin başlangıçtaki pembe rengi, açık pembeye ve süre sonunda renksiz hale dönüşmüştür, bu da hidrojen peroksitin antosiyaninler üzerindeki oksidasyon etkisinin göstergesidir.

Görsel 3, Kompleksler ve AC'nin oksidasyon stabilitesini göstermektedir. Tüm örneklerde ilk 20 dakikada absorbansta hızlı bir azalma, sonraki sürede ise daha yavaş bir azalma gözlenmiştir. İlk 20 dakikada absorbansta NPİ-AC için %43,08, N-AC için %34,65, AC için ise %54,39 olmuştur. 60 dakika sonunda absorbans değeri AC'de %64,91, NPİ-AC'de %61,54 ve N-AC'de %55,94 oranında azalmıştır.

Kompleks oluşturmanın antosiyanin stabilitesinin artmasını sağladığı He vd., (2016) çalışmasında gösterilmiştir. Süt proteinleri ile kompleks oluşturulan üzüm kabuğu antosiyanin özütlerinin H_2O_2'e karşı stabilitesinin, serbest antosiyaninlere kıyasla arttığı bildirilmiştir.



Görsel 3. H_2O_2 içeren ortamda antosiyaninlerin oksidatif stabilitesi.

3.3. Antioksidan Aktivite

CUPRAC antioksidan aktivite değerleri Troloks eşdeğeri olarak hesaplanmış ve Çizelge 2'de sunulmuştur. CUPRAC yöntemiyle belirlenen antioksidan aktivite sonuçları, örnekler arasında kısmi anlamlı farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur ($p<0,05$). En yüksek antioksidan aktivite AC'de saptanmıştır ($p<0,05$). Komplekslerde ise antioksidan aktivite açısından NPİ-AC ve N-AC ($p>0,05$). En yüksek antioksidan aktivitenin AC'de saptanması, antosiyaninlerin serbest formda olmamaları nedeniyle beklenen bir sonuçtur. Ayrıca analiz öncesinde AC'ye stabilitesini etkileyebilecek herhangi bir işlem uygulanmamıştır.

Çizelge 2. CUPRAC Antioksidan Aktivite değerleri.

Örnekler	**Antioksidan aktivite (mg Troloks eşdeğeri /g örnek)***
NPİ-AC kompleksi	33,17 0,62[a]
N-AC kompleksi	24,78 ± 6,03[a]
AC	411,1 ± 0,46[b]

***** Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

[a-b] Farklı harfler $p<0,05$ düzeyinde istatistiksel anlamlı farklılığı ifade eder.

Farklı bitkisel gıdalarda antosiyaninlerin antioksidan kapasiteleri, içerik ve yapısal farklılıklara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Antosiyanin türü, diğer fenolik bileşiklerin varlığı ve gıda matriksi bu kapasiteyi etkileyen başlıca faktörlerdir (Başkan vd., 2015).

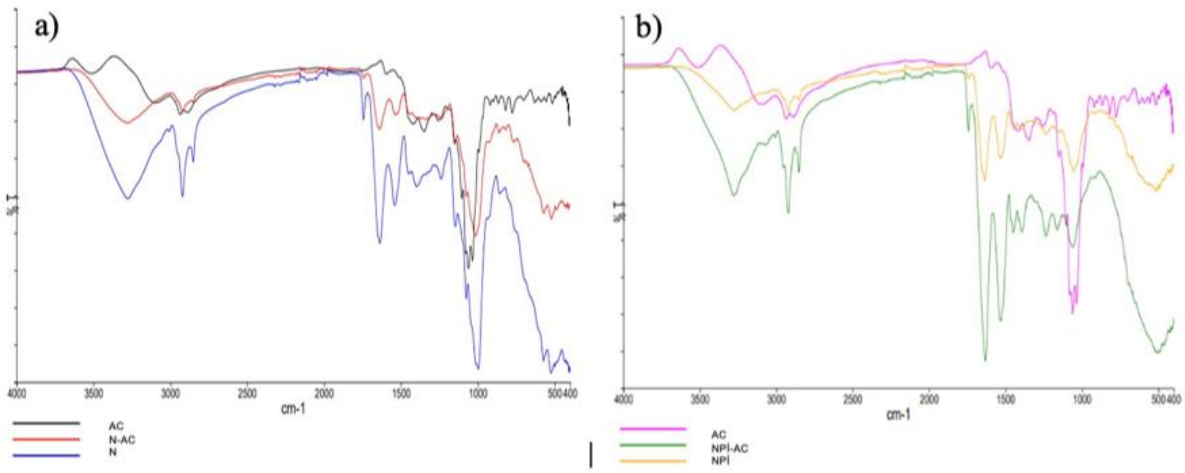
Başkan vd., (2015), kırmızı üzüm dahil olmak üzere çeşitli gerçek örnekler için CUPRAC yöntemi ile elde edilen deneysel ve teorik toplam antioksidan kapasite değerleri hesaplamıştır. Bu değerler, µmol trolox eşdeğeri (TE) g^{-1} taze ağırlık olarak verilmiştir. Kırmızı üzüm kabuğu için CUPRAC yöntemiyle ölçülen antioksidan aktivite değerleri 138,7 ± 13 µmol TE g^{-1}, üzüm kabuğu hidrolizatında 157,7 ± 6,4 µmol TE g^{-1}, bütün meyvede 17,0 ± 2,2 µmol TE g^{-1} ve aynı örneğin hidrolizatında 30,7 ± 0,2 µmol TE g^{-1} olarak saptanmıştır.

Ersoy vd., (2025), Altı Türk üzüm çeşidinin toplam antioksidan kapasitelerini (TAC) ve fenolik bileşiklerini değerlendirilmiştir. Üzüm sularında en yüksek TAC değeri Alicante (4,65 mmol Trolox L^{-1}) çeşidinde ölçülürken, kabuk ekstraktlarında en yüksek değer Carignan'da (0.630 ± 0.012 mmol Trolox g−1 kuru madde) gözlenmiştir. Kabuk örneklerinde fenolik bileşik içeriği ile TAC arasında güçlü bir pozitif korelasyon saptanmıştır. Sonuçlarda, üzüm çeşitleri arasında antioksidan kapasite açısından belirgin farklar olduğunu ve bu farkların başta antosiyaninler olmak üzere fenolik bileşiklerden kaynaklandığı bildirilmiştir.

3.4. Antosiyanin Komplekslerinin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ile Analizi

FTIR spektrumunda Amid I bandı ile ilişkili absorpsiyon amidin C=O bağının gerilme titreşimlerini, Amid II bandı ile ilişkili absorpsiyon ise öncelikle N-H bağının bükülme titreşimlerini ifade eder. Hem C=O hem de N-H bağları proteinin sekonder yapısı hakkında fikir verir (Gallagher, 2009).

3400 cm^{-1}'deki geniş bantlar O-H germe titreşimlerine karşılık gelmektedir. 2800 cm^{-1} ve 2900 cm^{-1} arasındaki pikler antosiyanin yapısının C-H germe titreşimlerine işaret etmektedir. Protein amid I bantları (1600-1700 cm^{-1}) ve amid II bantlarının (1500-1600 cm^{-1}) her ikisi de proteinin sekonder yapısıyla ilişkilidir. Tüm protein-AC komplekslerinde Amid I ve amid II bantlarının pik konumlarında değişimler tespit edilmiştir (Görsel 4). Bu değişim komplekslerdeki proteinlerin sekonder yapılarının AC ile kompleks oluşumundan sonra değiştiğini göstermektedir.



Görsel 4. Kompleksinin FTIR spektrumarı. a) N-AC kompleksi, b) NPİ-AC kompleksi.

Nohut unun proteini izolatında daha belirgin olarak saptanan amid I ve amid II bantları, nohut unu protein izolatının diğer proteinlere göre daha saf olmasından kaynaklanabilir.

N-AC kompleksindeki değişimlere bakıldığında özellikle O-H/N-H (3000-3500 cm^{-1}) ve C=O/C=C (1700-1500 cm^{-1}) bölgelerindeki değişimler, AC ve nohut unu proteinlerinin etkileşimleri sonucunda meydana gelmiştir. N-AC kompleksi, nohut ununa kıyasla parmak izi bölgesinde (1800–400 cm^{-1}) daha fazla pik göstermektedir. Antosiyaninlerin karakteristik bölgelerinde (1650-1500 cm^{-1}, 1200-1000 cm^{-1}, 900-600 cm^{-1}) belirgin farklılıklar gözlenmiştir, bu da AC'lerin nohut proteinlerine bağlandığının göstergesidir. Nohut unu proteinindeki amid I bölgesindeki dalga sayısı 1634 cm^{-1}'den 1638 cm^{-1}'e kaymıştır. Amid II bölgesinde ise nohut unu ve komplekste hemen hemen aynı dalga sayısı saptanmıştır. N-AC kompleksinde bazı piklerin şiddetinin azalması AC ile kompleks oluşumuna bağlı olarak bağlardaki değişimden kaynaklanabilir.

Benzer değişim NPİ-AC kompleksinde de gözlenmiştir. 1600–1400 cm^{-1} bölgelerinde NPİ-AC kompleksindeki spektrum izolatın verdiği spektruma kıyasla daha düşük % transmitans yani daha yüksek absorbans göstermiştir. Bunun nedeni AC ile kompleks oluşumudur. 1200–1000 cm^{-1} bölgesi antosiyaninlerin parmak izi bölgelerindendir. NPİ-AC kompleksi hem izolat hem de AC spektrum özelliklerini taşımaktadır. Amid I bölgesinde protein izolatı için 1640 cm^{-1} dalga sayısı saptanmış ancak bu değer NPİ-AC'de 1652 cm^{-1}'e kaymıştır. Bu kaymalar protein ile AC arasında muhtemel hidrojen bağlarının oluştuğunun göstergesidir.

4. SONUÇ

Nohut proteini izolatı, antosiyanin ile en yüksek bağlanmayı sağlayarak kompleks oluşumuna en uygun protein kaynağı olmuştur. FTIR sonuçları, kompleksleşmenin proteinlerin sekonder yapısını nohut ununda etkilediğini, izolatta ise yapısal değişime yol açmadığını göstermiştir. Oksidatif stabilite testleri, her iki proteinin antosiyaninleri serbest forma kıyasla koruyabildiğini; özellikle nohut ununun oksidasyona karşı daha yüksek koruyuculuk sağladığını ortaya koymuştur. Antioksidan aktivite, kompleksleşme sonrası beklenen bir durum olarak azalmış olsa da protein matrisinin antosiyaninleri farklı düzeylerde stabilize edebildiği görülmüştür.

Elde edilen bulgular, antosiyaninlerin bitkisel proteinlerle kompleksleştirilmesinin hem yapısal özellikleri hem de fonksiyonel özellikleri önemli ölçüde etkileyebildiğini göstermektedir. Nohut proteini izolatı, yüksek bağlanma oranı ile kompleks stabilitesi açısından avantaj sağlarken; nohut unu, daha düşük bağlanma oranına rağmen oksidatif koruma bakımından öne çıkmıştır.

Sonuç olarak, hedeflenen fonksiyonel özelliklere bağlı olarak uygun protein kaynağının seçimi, kompleks formülasyonlarında kritik bir adımdır.

Ayrıca Tübitak 1002 B projesi kapsamında 124O942 No'lu projemize destek veren Tübitak'a teşekkür ederiz.

5. KAYNAKÇA

AOAC, 2007. Official Methods of Analysis of AOAC International, 18th Ed. Method 2000.02 and Methods 985.29. AOAC International: Gaithersburg, MD.

Apak R, Güçlü K, Özyürek M, Çelik S. E. (2008). Mechanism of antioxidant capacity assays and the CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assay. *Microchim Acta* 160: 413– 9.

Ayvaz, H., Cabaroglu, T., Akyildiz, A., Pala, C. U., Temizkan, R., Ağçam, E., ... & Diaconeasa, Z. (2022). Anthocyanins: Metabolic digestion, bioavailability, therapeutic effects, current pharmaceutical/industrial use, and innovation potential. *Antioxidants*, 12(1), 48.

Bartel, I., Koszarska, M., Strzałkowska, N., Tzvetkov, N. T., Wang, D., Horbańczuk, J. O., ... & Jóźwik, A. (2023). Cyanidin-3-O-glucoside as a Nutrigenomic Factor in Type 2 Diabetes and Its Prominent Impact on Health. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 9765.

Başkan, K. S., Tütem, E., Akyüz, E., & Apak, R. (2015). Assessment of the contributions of anthocyanins to the total antioxidant capacities of plant foods. *European Food Research and Technology*, 241(4), 529–541.

Castañeda-Ovando, Araceli, Pacheco-Hernández, Ma, de Lourdes, Páez.-Hernández, Elena, Ma, Rodríguez, José A., & GalánVidal, Carlos Andrés (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871.

Dong, Y., Sui, L., Yang, F., Ren, X., Xing, Y., & Xiu, Z. (2022). Reducing the intestinal side effects of acarbose by baicalein through the regulation of gut microbiota: An in vitro study. *Food Chemistry*, 394, 133561.

Gallagher, W. (2009). FTIR analysis of protein structure. *Course manual Chem*, 455, 1-8.

Giampieri, F., Cianciosi, D., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Forbes-Hernández, T. Y., Navarro-Hortal, M. D., ... & Diaz, Y. A. (2023). Anthocyanins: what do we know until now?. *Journal of Berry Research*, 13(1), 1-6.

Gowd, V., Karim, N., Xie, L., Shishir, M., Xu, Y., Chen, W. (2020). In vitro study of bioaccessibility, antioxidant, and αglucosidase inhibitory effect of pelargonidin-3-O-glucoside after interacting with beta-lactoglobulin and chitosan/pectin, *International Journal of Biological Macromolecules*, 154:380-389.

He, Z., Xu, M., Zeng, M., Qin, F., & Chen, J., (2016). Preheated milk proteins improve the stability of grape skin anthocyanins extracts. *Food Chemistry*, 210, 221–227.

Jiang, L., Liu, Y., Li, L., Qi, B., Ju, M., Xu, Y., ... & Sui, X. (2019). Covalent conjugates of anthocyanins to soy protein: Unravelling their structure features and in vitro gastrointestinal digestion fate. *Food Research International*, 120, 603–609.

Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food research international*, 44(9), 2742-2750.

Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227(5259), 680-685.

Lin, Z., Fischer, J., & Wicker, L. (2016). Intermolecular binding of blueberry pectin-rich fractions and anthocyanin. *Food Chemistry, 194*, 986-993.

Miao, L., Xu, Y., Jia, C., Zhang, B., Niu, M., & Zhao, S. (2021). Structural changes of rice starch and activity inhibition of starch digestive enzymes by anthocyanins retarded starch digestibility. *Carbohydrate Polymers*, 261, 117841.

Oh, Y. S., Lee, J. H., Yoon, S. H., Oh, C. H., Choi, D. S., Choe, E., & Jung, M. Y. (2008). Characterization and quantification of anthocyanins in grape juices obtained from the grapes cultivated in Korea by HPLC/DAD, HPLC/MS, and HPLC/MS/MS. *Journal of food science*, 73(5), C378-C389.

Oliveira, H., Fernandes, A., F. Brás, N., Mateus, N., de Freitas, V., & Fernandes, I. (2020). Anthocyanins as antidiabetic agents—in vitro and in silico approaches of preventive and therapeutic effects. *Molecules*, 25(17), 3813.

Sandoval-Ramírez, B. A., Catalán, Ú., Llauradó, E., Valls, R. M., Salamanca, P., Rubió, L., ... & Solà, R. (2022). The health benefits of anthocyanins: An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses of observational studies and controlled clinical trials. *Nutrition Reviews*, 80(6), 1515-1530.

Strauch, R. C., & Lila, M. A. (2021). Pea protein isolate characteristics modulate functional properties of pea protein–cranberry polyphenol particles. *Food Science & Nutrition, 9*(7), 3740–3751.

Wang, B. C., He, R., & Li, Z. M. (2010). The stability and antioxidant activity of anthocyanins from blueberry. *Food technology and biotechnology*, 48(1), 42-49.

Wang, W., Jung, J., Tomasino, E., & Zhao, Y. (2016). Optimization of solvent and ultrasound-assisted extraction for different anthocyanin rich fruit and their effects on anthocyanin compositions. *LWT-Food Science and Technology*, 72, 229-238

Wu, H., Oliveira, G., & Lila, M. A. (2023). Protein-binding approaches for improving bioaccessibility and bioavailability of anthocyanins. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(1), 333-354.

Xiong, J., Chan, Y. H., Rathinasabapathy, T., Grace, M. H., Komarnytsky, S., & Lila, M. A. (2020). Enhanced stability of berry pomace polyphenols delivered in protein-polyphenol aggregate particles to an in vitro gastrointestinal digestion model. *Food chemistry*, 331, 127279.

Zang, Z., Tang, S., Li, Z., Chou, S., Shu, C., Chen, Y., ... & Li, B. (2022). An updated review on the stability of anthocyanins regarding the interaction with food proteins and polysaccharides. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(5), 4378-4401.

Zhao, C., Miao, Z., Yan, J., Liu, J., Chu, Z., Yin, H., Zheng, M., & Liu, J. (2022). Ultrasound-induced red bean protein–lutein interactions and their effects on physicochemical properties, antioxidant activities and digestion behaviors of complexes. *LWT*, 160.

BCM-7: OLUŞUMU VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

BCM-7: Formation and Effects on Health

Avni Oğulcan Coşkunışık

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

ogulcancoskunisik@gmail.com ORCID ID: 0009-0005-9497-7211

Prof. Dr. Sedef Nehir EL

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü

sedef.el@ege.edu.tr ORCID ID: 0000-0002-2996-0537

Özet

Süt proteinlerinin önemli bir kısmı olan kazein, α-s1-kazein, α-s2-kazein, κ-kazein ve β-kazein (β-CN) olmak üzere dört farklı alt tür içerir. Süt ineklerinin genetik karakterizasyonu, β-CN'nin A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2, I ve J olmak üzere 13 genetik varyantının bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu varyantlar arasında A1 ve A2, dünya çapında süt ineklerinde en yaygın görülenlerdir. Beta-kazomorfin-7 (BCM-7), beta-kazein proteininden gastrointestinal sindirim sürecinde açığa çıkan bir opioid özellikli peptittir. A1 ve A2 beta-kazein proteinleri arasındaki temel yapısal farklılık, 67. pozisyonda gerçekleşen tek bir amino asit değişiminden kaynaklanmakta olup (histidinin yerine prolin geçmesi), bu küçük moleküler değişikliğin insan sağlığı üzerinde önemli etkiler doğurabileceği ileri sürülmektedir. A1 beta-kazein içeren sütlerde histidinin bulunması, enzimatik hidrolizin daha kolay gerçekleşmesini sağlayarak BCM-7 salınımını artırırken; A2 beta-kazein içeren sütlerde prolinin varlığı, bu süreci engelleyerek BCM-7 oluşumunu büyük ölçüde sınırlamaktadır. BCM-7'nin opioid benzeri farmakolojik etkiler sergilediği ve tip 1 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, otizm gibi nörogelişimsel bozuklukların yanı sıra alerjik reaksiyonlar ve ani bebek ölümü sendromu gibi çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkili olabileceği rapor edilmiştir. A2 sütü, daha iyi gastrointestinal tolerans ve daha düşük inflamatuvar potansiyel ile ilişkilendirilmiştir. Ancak literatürdeki bulgular *in vitro, in vivo* ve klinik çalışmalar arasında tutarsızlık göstermekte ve bu durum BCM-7'nin gerçek biyolojik etkilerini netleştirmeyi zorlaştırmaktadır. Ayrıca, bireysel sindirim farklılıkları, süt işleme teknikleri ve çevresel etkenler de değerlendirmeleri karmaşıklaştırmaktadır. Bu derlemede BCM-7 oluşumunun moleküler mekanizması özetlenmekte, potansiyel sağlık etkileri tartışılmakta ve bu biyoaktif peptitin klinik öneminin netleştirilebilmesi için standart yöntemlerin geliştirilmesine ve uzun süreli insan çalışmalarına duyulan gereksinim vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: BCM-7, A1 süt, A2 süt, süt, sağlık

BCM-7: Formation and Effects on Health

Abstract

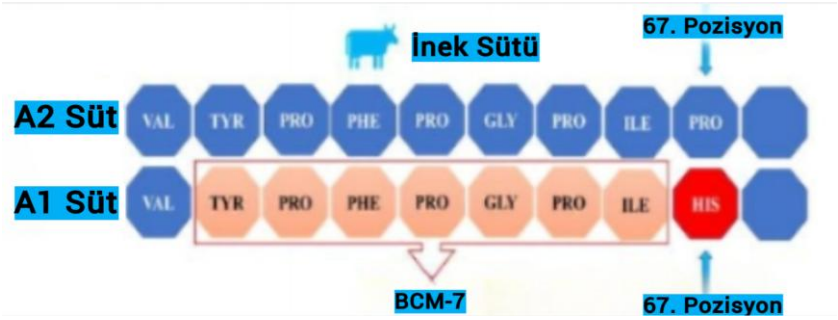
Beta-casomorphin-7 (BCM-7) is an opioid peptide released during the gastrointestinal digestion of A1 beta-casein protein, predominantly found in cattle breeds of European origin. The structural difference between A1 and A2 beta-casein arises from a single amino acid substitution at position 67 (histidine in A1 and proline in A2), and this minor variation is suggested to have significant implications for human health. In milk containing A1 beta-casein, the presence of histidine at this position facilitates enzymatic hydrolysis and enhances the release of BCM-7, whereas in milk containing A2 beta-casein, proline inhibits this process, substantially limiting BCM-7 formation. BCM-7 has been reported to exhibit opioid-like pharmacological effects and is proposed to be associated with various health conditions, including type 1 diabetes, cardiovascular diseases, neurodevelopmental disorders such as autism, allergic reactions, and sudden infant death syndrome. A2 milk has been associated with improved gastrointestinal tolerance and a lower inflammatory potential. However, findings in the literature remain inconsistent across in vitro, in vitro, in vivo, and clinical studies, complicating the clarification of BCM-7's true biological effects. Moreover, individual variations in digestion, milk processing techniques, and environmental factors further complicate assessments. This review summarizes the molecular mechanism underlying BCM-7 formation, discusses potential health effects, and highlights the need for standardized methodologies and long-term human studies to elucidate the clinical relevance of this bioactive peptide.

Key words: BCM-7, A1 milk, A2 milk, milk, health

Giriş

BCM-7 Nedir?

Kazein proteini, inek sütünde bulunan proteinlerin yaklaşık %80'ini oluşturur. Kazein sınıfı, α-s1-kazein, α-s2-kazein, κ-kazein ve β-kazein (β-CN) olmak üzere dört farklı alt tür içerir. Bu alt türler arasında β-kazein, inek sütündeki toplam kazeinlerin yaklaşık %30'unu oluşturmasıyla en bol bulunan alt türlerden biridir (Daniloski et al. 2021). Süt ineklerinin genetik karakterizasyonu, β-CN'nin A1, A2, A3, B, C, D, E, F, G, H1, H2, I ve J olmak üzere 13 genetik varyantının bulunduğunu ortaya koymuştur. Bu varyantlar arasında A1 ve A2, dünya çapında süt sığırlarında en yaygın olarak görülenlerdir (Kamiński et al., 2007). Kazeinin polipeptit zincirinin 67. pozisyonunda prolin amino asidi içeren sütü üreten inekler, yani orijinal inek ırkları A2 inekleri olarak adlandırılır. A2 sütü esas olarak Hindistan'a özgü yerli ineklerde (Red Sindhi, Sahiwal, Tharparkar, Gir ve Rathi ırkı inekler) ve mandalarda bulunur. Yaklaşık 5000 yıl önce, bu prolin amino asidinde meydana gelen bir mutasyon ile prolin, histidine (farklı bir amino asit) dönüşmüştür. Bu mutasyona sahip β-kazein proteinini üreten inekler A1 inekleri (Holstein Friesian ve Jersey ırkı inekler) olarak adlandırılır. A1 protein varyantı, melez ve Avrupa kökenli sığır ırklarının sütlerinde yaygın olarak bulunur (Parashar ve Saini, 2015; Boro et al., 2016). Bu iki genetik form arasındaki fark, polipeptit zincirinin 67. pozisyonundaki tek bir amino asit mutasyonu ile A1 β-CN sütünde bu pozisyonda histidin (His67), A2 β-CN sütünde ise prolin (Pro67) bulunur (Görsel 1) (Kamiński et al., 2007; Clarke ve Trivedi, 2014).

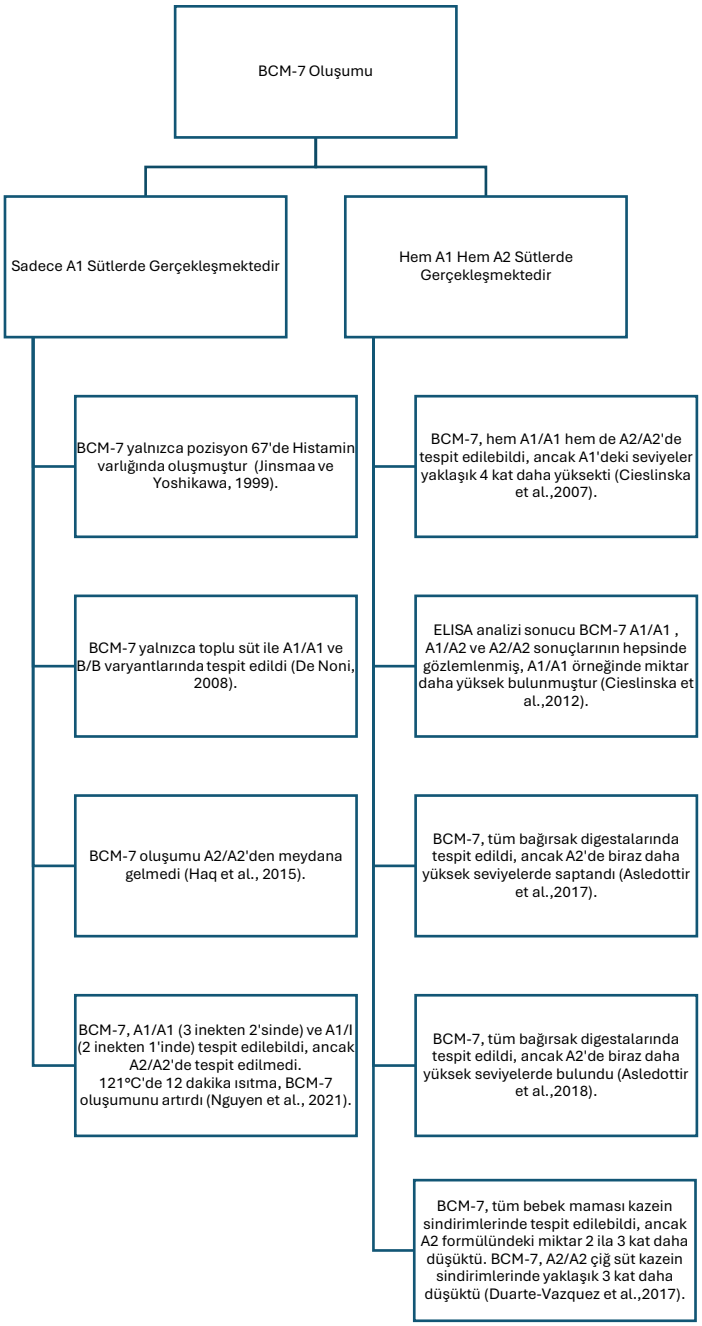


Görsel 1 - A1 ve A2 sütlerdeki kazeinlerin aminoasit dizilimi

A1 β-CN sütünde His67'nin varlığı, insan gastrointestinal enzimlerin veya mikrobiyal aktivitenin proteolitik etkisi ile β-CN üzerinde proteolitik bir hidroliz gerçekleşir. Böylece sindirim sırasında β-kazomorfin-7 (BCM-7) oluşur. Ayrıca, A2 β-CN'de prolin bulunmasının bu proteolitik hidrolizi engellediği görülmektedir (Kamiński et al., 2007).

A2 sütünde, β-kazeinin 67. pozisyonunda bulunan prolin amino asidi, vücutta BCM-7 oluşumunu engeller. Ancak A1 sütünde β-kazeinin 67. pozisyonunda histidin bulunduğunda, çeşitli gastrointestinal enzimler bu pozisyonda parçalama yaparak BCM-7'yi serbest bırakabilir. Prolin, BCM-7 adlı peptite güçlü bir şekilde bağlanarak onun serbest kalmasını engeller. Bu nedenle, orijinal A2 ineklerinden elde edilen sütte BCM-7, idrar, kan ya da bağırsak sisteminde tespit edilmez. Ancak mutasyona uğramış olan histidin, BCM-7'yi tutacak kadar güçlü bir bağ oluşturamaz. Bu yüzden A1 sütü tüketildiğinde, BCM-7 hayvanların ve insanların sindirim sistemine geçer (Chitra, 2021). Ancak bilim dünyası, BCM-7 konusunda hala fikir birliğine sahip

değildir. BCM-7'nin A1 ve A2 sütleriyle ilişkisi üzerine yapılan çalışmalar, literatürde önemli bir görüş ayrılığı yaratmıştır. Bazı araştırmalar, BCM-7'nin yalnızca A1 β-kazein içeren sütlerde anlamlı düzeyde oluştuğunu ve A2 sütünde bu peptitin neredeyse hiç açığa çıkmadığını öne sürerken; bazı çalışmalar, özellikle sindirim koşullarına ve süt işleme yöntemlerine bağlı olarak A2 sütünden de düşük miktarda BCM-7'nin oluşabileceğini belirtmektedir. Bu durum, BCM-7'nin yalnızca genetik varyantlara mı yoksa çevresel ve teknolojik faktörlere mi bağlı olarak üretildiği konusunda belirsizlik yaratmaktadır. Ayrıca *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar arasındaki farklılıklar, bu konuda net bir bilimsel görüş birliği oluşmasını zorlaştırmaktadır. Konu ile ilgili karşıt çalışmalara ait referanslar Şekil 1'de verilmiştir.



Görsel 2 - BCM-7 Oluşumu hakkında farklı çalışma sonuçları

Görsel-2'de verilen çalışmalar, geçmişten günümüze bu çalışmalardaki görüş ayrılıklarının zaman içinde devam ettiğini gözler önüne sermektedir. De Noni'nin (2008) Holstein türü ineklerde yaptığı çalışmada A2 sütlerde BCM-7'ye rastlanmazken, Asledottir ve arkadaşlarının (2018) yine Holstein türü ineklerde yaptığı çalışmada A2 sütlerde BCM-7'ye rastlandığını, ayrıca A1 sütlerdeki seviyeden daha yüksek seviyede bulunduğunu göstermiştir. Daha yakın tarihli bir çalışmada Nguyen ve arkadaşları (2021) ise Holstein ineklerindeki A2 sütünde BCM-7 bulunmadığını öne sürmüştür.

BCM-7 ve Sağlık Üzerine Etkileri

A1 β-kazein, bağırsakta enzimatik olarak parçalanarak morfine benzer bir opioid peptit olan β-kazomorfin-7 (β-CM-7) üretir ve bu peptit β-kazomorfinler (β-CMs) olarak adlandırılır. Bu, insan vücudunda sindirilemeyen bir peptittir. Bu durum hazımsızlığa yol açabilir ve birçok araştırma peptitin tip 1 diyabet, koroner kalp hastalığı, ateroskleroz, ani bebek ölümü sendromu, otizm ve şizofreni gibi çeşitli sağlık sorunlarıyla ilişkili olabileceğini göstermiştir. A2 β-kazein sütünde süt proteinleri önce peptitlere, ardından da amino asitlere parçalanır. Bu nedenle A2 sütü kolayca sindirilebilir. Öte yandan, A1 β-kazein sütünde oluşan peptitler amino asitlere parçalanamaz ve sindirilemeden kalırlar. Bu A1 β-kazein protein parçaları, bağırsaklardaki geçirgenlik yoluyla kana geçerek ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir. Bu sorunlar arasında koroner kalp hastalıkları, Tip 1 diyabet ve otizm yer alır (Fernández-Rico et al., 2022).

Tip 1 Diyabet

Tip 1 diyabet , pankreasın β-hücrelerini etkileyerek onların insülin üretmesini engelleyen otoimmün bir hastalıktır. Genellikle erken yaşlarda ortaya çıkar, bu nedenle "çocukluk diyabeti" olarak da bilinir; ancak erişkinlik döneminde de görülebilir. Tip 1 diyabetin görülme sıklığı, her bölgede bulunan sığır sürüleri arasındaki genetik farklılıklara ve dolayısıyla süt bileşimlerine bağlı olarak bölgelere göre farklılık göstermektedir. Birçok çalışma, Finlandiya ve İsveç gibi A1 süt tüketiminin yüksek olduğu ülkelerde tip 1 diyabet görülme sıklığının daha yüksek olduğunu; diğer yandan Japonya ve Venezuela gibi kişi başına A1 süt tüketiminin en düşük olduğu ülkelerde ise daha az olduğunu göstermiştir. Tip 1 diyabet için en önemli risk faktörü genetik yapıdır, ancak bu genetik eğilim sıklıkla çevresel faktörlerle tetiklenmektedir (Fernández-Rico et al., 2022). Bu tetikleyiciler arasında doğum öncesi ve doğum sonrası maruziyetler de yer alır. A1 β-kazein de tip 1 diyabetin belirgin bir şekilde artmasını açıklayabilecek önemli bir çevresel tetikleyici olarak tanımlanmıştır. Bebeklerin erken dönemde inek sütüne maruz kalması, tip 1 diyabet gelişiminde önemli bir faktör olarak belirlenmiştir. β-hücrelerine yönelik otoimmünite erken yaşlarda gelişmekte ve inek sütü temelli erken diyet, tip 1 diyabet riskini etkileyebilmektedir (Chia et al., 2017). β-kazeinin tip 1 diyabet üzerindeki etkilerine ilişkin olarak, BCM-7'nin bağırsak bağışıklık sisteminde baskılayıcı (immünsüpresif) olarak davrandığı, bu durumun besinsel antijenlere karşı toleransı bozarak tip 1 diyabet gelişimine katkıda bulunabileceği belirtilmiştir. Bağırsak iltihabı ve buna eşlik eden bağırsak geçirgenliği değişikliklerinin, bağışıklık aktivasyonunu ve otoimmün yanıtı tetikleyerek bireyleri tip 1 diyabete yatkın hale getirdiği iyi bilinmektedir (Ramakrishnan et al., 2020).

Nörolojik Bozukluklar

Nörolojik bozukluklarla ilgili olarak, 45 katılımcıyla gerçekleştirilen randomize, çift kör bir klinik çalışmada, karışık A1/A2 sütü tüketiminin 14 gün içinde bilişsel işlem hızını ve doğruluğunu kötüleştirdiği, buna karşılık sadece A2 sütü tüketen bireylerde bu etkinin görülmediği rapor edilmiştir (Semwal et al., 2022). Clarke ve Yelland (2017), A1 varyantı tüketimi ile azalmış bilişsel fonksiyon ve A2 varyantı tüketimi ile gelişmiş bilişsel fonksiyon arasında doğrudan bir ilişki

bulmuşlardır. Özellikle A2 sütü tüketen okul öncesi çocuklarda bilişsel işlevlerin geleneksel süte kıyasla iyileştiği gözlenmiştir (Sheng et al., 2019).

Nörolojik bozukluklar arasında, A1 β-kazein tüketimi ile otizm arasındaki ilişkiye özel bir önem verilmiştir. Otizm; bireysel kişilik sorunları, sosyal etkileşim ve iletişim güçlükleri ile anormal izolasyon davranışlarıyla karakterizedir (Gonzales-Malca et al., 2023). Bu rahatsızlık, β-kazein tüketimi doğrudan ilişkili görülmüştür. A1 sütünden türetilen BCM-7'nin gastrointestinal sistemde inflamatuvar bir yanıt oluşturduğu, özellikle çocuklarda bağırsak geçirgenliğinin yüksek olması nedeniyle, BCM-7'nin kan–beyin bariyerini geçerek beyinde birikim yaptığı ve μ-opioid reseptörlerine bağlanarak otizme yol açtığı belirtilmiştir. Bu durum, özellikle bağırsak mukozası tam gelişmemiş olan bebekler ve çocuklar ile beslenme sürecinde erken dönemde inek sütüyle tanışanlar arasında daha sık görülmektedir. Otizmli çocukların kan ve idrarında BCM-7 düzeyleri ile otizm arasında doğrudan bir korelasyon gözlenmiştir (Fernández-Rico et al., 2022). Öte yandan, A1 sütü yerine A2 sütü tüketilmesinin bilişsel performansta iyileşme sağladığı da yeni bir çalışmada gösterilmiştir (Gonzales-Malca et al., 2023). Ani bebek ölümü sendromu, bir yaş altındaki bebek ölümlerinin en yaygın nedenidir ve genellikle anne sütünden inek sütüne geçiş sonrası görülmektedir. A1 sütüyle beslenen bebeklerde, sindirim sistemi yeterince gelişmemiş olduğu için süt proteini sindirilirken BCM-7 tamamen emilir ve doğrudan kana geçer. Bu emilim tam olduğu için BCM-7 merkezi sinir sistemini bloke etmeden kan–beyin bariyerini aşar. BCM-7 molekülleri beyindeki opioid reseptörlerine bağlanarak solunum sistemini etkileyebilir ya da kan basıncını düşürerek ani ölüme neden olabilir (Kumar et al., 2021).

Alerjik Reaksiyonlar

Gıda tüketimi yoluyla gelişen alerjilerin insidansı, toplam alerjilerle karşılaştırıldığında düşüktür ve dünya genelinde 18 yaş altı nüfusta görülen alerjilerin %10'unu bile temsil etmemektedir. Ancak alerji görülme oranı dünya genelinde artış göstermekte olup; bu artış ırk, yaş ve kentleşme derecesi gibi birçok faktörle ilişkilidir (Fernández-Rico et al., 2022). BCM-7 tüketimiyle ilişkili alerjiler, bilimsel çalışmalarda giderek daha fazla odak noktası olmaya başlamıştır. Anne sütü ve bebek formülleriyle beslenen bebeklerin tepkileri farklılık göstermekte; formül süt tüketiminin, bakteriyel yapışmayı ve bağırsak bariyeri durumunu değiştirdiği, ayrıca kalsiyum iyonlarının etkisiyle bağırsak epitelinde sıkı bağlantıların bozulmasına neden olduğu gözlemlenmiştir. Öte yandan, BCM-7 sadece çocuklarda değil, yetişkinlerde de alerjik tepkiler ortaya çıkarabilmekte, çünkü bu peptidin sistemik dolaşımda bulunması bağışıklık yanıtlarında değişikliklere yol açmaktadır (Thiruvengadam et al., 2020). A1 ve A2 sütlerinin süt intoleransı semptomları üzerindeki farkları, Çinli yetişkinler üzerinde incelenmiş ve A2 β-kazein tüketimiyle ortaya çıkan gastrointestinal problemlerin, geleneksel süte kıyasla çok daha düşük olduğu saptanmıştır (He et al., 2017). Bu bulgular, A2 β-kazeinin gastrointestinal semptomları daha az oluşturduğunu ve semptomlarda hafifleme eğilimi gösterdiğini ortaya koymuştur.

Kardiyovasküler Hastalıklar

Kardiyovasküler hastalıklar, birçok faktörün etkisiyle gelişebilir ve semptomlar ortaya çıkmadan veya teşhis konmadan önce uzun bir süre boyunca ilerleyebilir. Bu nedenle, genellikle bu hastalıklar görüldüğünde, belirli bir nedene bağlanmaları zordur; daha çok birden fazla yatkınlık oluşturan faktörün birleşimiyle ilişkilendirilir. (Fernández-Rico et al., 2022). Klinik çalışmalar, β-kazein A1 varyantı içeren süt tüketiminin insanlarda kalp hastalıklarının gelişimini desteklediğini doğrulamıştır. Bu durum, bazı insan popülasyonlarının A1 β-kazein içermeyen geviş getiren hayvan sütlerini tüketmeleriyle, Avrupalılara kıyasla daha düşük kardiyovasküler hastalık oranlarına sahip olmaları ile açıklanmıştır (Semwal et al., 2022). Ancak, bu konudaki çalışmalarda bazı çelişkiler mevcuttur. Örneğin, 62 katılımcıyla yapılan randomize bir çalışmada, 4 haftadan uzun süre boyunca A1 veya A2 süt ve süt ürünleri tüketen bireylerde kolesterol seviyelerinde anlamlı bir fark saptanmamıştır (Venn et al., 2005). BCM-7'nin, LDL kolesterolün oksidasyonunu tetiklediği bulunmuştur ki bu durum, akut kardiyovasküler hastalıklar için önemli bir risk faktörüdür. LDL, kan yoluyla lipit taşımasından sorumludur, kolesterolün periferal dokulara taşınmasında önemlidir ve oksidatif hasara oldukça duyarlıdır. Bu oksidasyon, kardiyovasküler hastalıkların ve aterosklerozun gelişiminde anahtar rol oynar (Kay et al., 2020). Ancak, bu etkiler insanlarda doğrulanamamıştır. Örneğin, Yeni Zelanda'da 62 birey üzerinde yapılan rastgele çaprazlama bir çalışmada, A1 ve A2 β-kazein tüketimi sonrası toplam LDL ve HDL kolesterol seviyeleri arasında anlamlı fark bulunmamıştır (Venn et al., 2005). Bu hipotezi güçlendirmek için yapılan bir başka çalışmada, A1 β-kazein takviyesinin, kardiyovasküler hastalık geliştirme riski yüksek bireylerde A2'ye kıyasla daha fazla risk oluşturup oluşturmayacağı incelenmiştir. Ancak herhangi bir risk artışına dair kanıt gözlemlenememiştir. A1 ve A2 β-kazein takviyesi yapılan bireylerin 12 hafta sonra kan kolesterol düzeyleri benzer bulunmuş, ayrıca aort basıncında da anlamlı bir fark gözlemlenmemiştir. Bu nedenle, β-kazein takviyesinin A1'e kıyasla kalp sağlığını koruyucu bir avantajı olmadığı sonucuna varılmıştır (Chin-Dusting et al., 2006).

Sonuç

Bu derlemede beta-kazomorfin-7 (BCM-7) adlı biyoaktif peptidin A1 ve A2 beta-kazein varyantları üzerinden oluşum mekanizması ve bu oluşumun insan sağlığı üzerindeki olası etkileri değerlendirilmiştir. A1 beta-kazein tüketimiyle ilişkili olarak BCM-7'nin gastrointestinal sindirim sırasında ortaya çıktığı ve bu peptidin opioid benzeri özellikleri nedeniyle çeşitli fizyolojik sistemler üzerinde etkili olabileceği yönündeki bulgular, son yıllarda artan sayıda çalışma ile desteklenmektedir. Özellikle tip 1 diyabet, nörogelişimsel bozukluklar, alerjik reaksiyonlar ve kardiyovasküler hastalıklar gibi sağlık sorunlarıyla BCM-7 arasında potansiyel ilişkiler kurulmuş; ancak bu ilişkiler literatürde hem destekleyici hem de çelişkili sonuçlarla ifade edilmiştir. Bu durum, farklı çalışma tasarımları, *in vitro* ve *in vivo* modeller arasındaki farklılıklar, bireysel sindirim değişkenlikleri ve süt işleme tekniklerinin etkisi gibi çok sayıda değişkenin devreye girmesiyle açıklanabilir. A2 sütü ise BCM-7 oluşumunu büyük ölçüde engelleyen yapısal özelliği nedeniyle daha yüksek gastrointestinal tolerans ve düşük inflamatuvar potansiyel ile ilişkilendirilmiştir. Ancak A2 sütüne atfedilen bu olumlu etkilerin geniş popülasyonlarda, uzun süreli ve kontrollü klinik çalışmalarla netleştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, BCM-7'nin biyolojik etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için standartlaştırılmış deneysel protokollere, moleküler düzeyde doğrulamalara ve çok merkezli insan çalışmalarıyla desteklenen geniş ölçekli epidemiyolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Elde edilen verilerin süt ürünlerinin üretimi, etiketlenmesi ve tüketici bilgilendirmesi açısından da önemli katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Kaynakça

1. Asledottir, T., Le, T. T., Petrat-Melin, B., Devold, T. G., Larsen, L. B., & Vegarud, G. E. (2017). Identification of bioactive peptides and quantification of β-casomorphin-7 from bovine β-casein A1, A2 and I after ex vivo gastrointestinal digestion. *International Dairy Journal*, *71*, 98–106. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.03.008
2. Asledottir, T., Le, T. T., Poulsen, N. A., Devold, T. G., Larsen, L. B., & Vegarud, G. E. (2018). Release of β-casomorphin-7 from bovine milk of different β-casein variants after ex vivo gastrointestinal digestion. *International Dairy Journal*, *81*, 8–11. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.12.014
3. Boro, P., Naha, B.C., Saikia, D.P. and Prakash, C. (2016). *A1 and A2 milk and its impact on human health.* International Journal of Science and Nature. 7(1): 1-15.
4. Chia, J. S. J., McRae, J. L., Kukuljan, S., Woodford, K., Elliott, R. B., Swinburn, B., & Dwyer, K. M. (2017). A1 beta-casein milk protein and other environmental pre-disposing factors for type 1 diabetes. *Nutrition and Diabetes*, *7*(5), e274. https://doi.org/10.1038/nutd.2017.16
5. Chin-Dusting, J., Shennan, J., Jones, E., Williams, C., Kingwell, B., & Dart, A. (2006). Effect of dietary supplementation with βcasein A1 or A2 on markers of disease development in individuals at high risk of cardiovascular disease. *British Journal of Nutrition*, *95*(1), 136–144. https://doi.org/10.1079/bjn20051599
6. Chitra, P. (2021). *Bovine Milk: A1 and A2 Beta Casein Milk Proteins and their Impact on Human Health: A Review*. *Agricultural Reviews*, *Of*. https://doi.org/10.18805/ag.r-2126
7. Cieślińska, A., Kostyra, E., Kostyra, H., Oleński, K., Fiedorowicz, E., & Kamiński, S. (2011). Milk from cows of different β-casein genotypes as a source of β-casomorphin-7. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, *63*(4), 426–430. https://doi.org/10.3109/09637486.2011.634785
8. Cieślińska, Anna & Kaminski, Stanislaw & Kostyra, Elżbieta & Sienkiewicz-Szłapka, E. (2007). Beta-casomorphin 7 in raw and hydrolyzed milk derived from cows of alternative β-casein genotypes. Milchwissenschaft. 62. 125-127.
9. Clarke, A. and Trivedi, M. (2014). *Bovine beta casein variants: Implications to human nutrition and health.* International Conference on Food Security and Nutrition, IPCBEE. IACSIT Press, Singapore. 67: 11-17.
10. Clarke, A.J.; Yelland, G.Y. Beta-Caseins and Cognitive Function. Global Patent WO2017171563A1, 2017. Available online: https://patents.google.com/patent/WO2017171563A1/en (Erişim tarihi: 12/04/2025)
11. Daniloski, D., Cunha, N. M., McCarthy, N. A., O'Callaghan, T. F., McParland, S., & Vasiljevic, T. (2021). Health-related outcomes of genetic polymorphism of bovine β-casein variants: A systematic review of randomised controlled trials. *Trends in Food Science & Technology*, *111*, 233–248. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.073
12. De Noni, I. (2008). Release of β-casomorphins 5 and 7 during simulated gastro-intestinal digestion of bovine β-casein variants and milk-based infant formulas. *Food Chemistry*, *110*(4), 897–903. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.077
13. Duarte-Vázquez, M., García-Ugalde, C., Villegas-Gutiérrez, L., García-Almendárez, B., & Rosado, J. (2017). Production of Cow's Milk Free from Beta-Casein A1 and Its Application in the Manufacturing of Specialized Foods for Early Infant Nutrition. *Foods*, *6*(7), 50. https://doi.org/10.3390/foods6070050

14. Fernández-Rico, S., Del Carmen Mondragón, A., López-Santamarina, A., Cardelle-Cobas, A., Regal, P., Lamas, A., Ibarra, I. S., Cepeda, A., & Miranda, J. M. (2022). A2 Milk: New Perspectives for food Technology and Human Health. *Foods*, *11*(16), 2387. https://doi.org/10.3390/foods11162387
15. Gonzales-Malca, J. A., Tirado-Kulieva, V. A., Abanto-López, M. S., Aldana-Juárez, W. L., & Palacios-Zapata, C. M. (2023). Worldwide research on the health effects of bovine milk containing A1 and A2 β-casein: Unraveling the current scenario and future trends through Bibliometrics and text mining. *Current Research in Food Science*, *7*, 100602. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100602
16. Haq, M. R. U., Kapila, R., & Kapila, S. (2014). Release of β-casomorphin-7/5 during simulated gastrointestinal digestion of milk β-casein variants from Indian crossbred cattle (Karan Fries). *Food Chemistry*, *168*, 70–79. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.024
17. He, M., Sun, J., Jiang, Z. Q., & Yang, Y. X. (2017). Effects of cow's milk beta-casein variants on symptoms of milk intolerance in Chinese adults: a multicentre, randomised controlled study. *Nutrition Journal*, *16*(1). https://doi.org/10.1186/s12937-017-0275-0
18. Jinsmaa, Y., & Yoshikawa, M. (1999). Enzymatic release of neocasomorphin and β-casomorphin from bovine β-casein. *Peptides*, *20*(8), 957–962. https://doi.org/10.1016/s0196-9781(99)00088-1
19. Kamiński, S., Cieślińska, A., & Kostyra, E. (2007). Polymorphism of bovine beta-casein and its potential effect on human health. *Journal of Applied Genetics*, *48*(3), 189–198. https://doi.org/10.1007/bf03195213
20. Kay, S. S., Delgado, S., Mittal, J., Eshraghi, R. S., Mittal, R., & Eshraghi, A. A. (2020). Beneficial effects of milk having A2 B-Casein protein: myth or reality? *Journal of Nutrition*, *151*(5), 1061–1072. https://doi.org/10.1093/jn/nxaa454
21. Nguyen, D. D., Busetti, F., Smolenski, G., Johnson, S. K., & Solah, V. A. (2020). Release of beta-casomorphins during in-vitro gastrointestinal digestion of reconstituted milk after heat treatment. *LWT*, *136*, 110312. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110312
22. Parashar, A. and Saini, R.K. (2015). *A1 milk and its controversy-A review*. International Journal of Bioassays. 4.12: 4611-4619
23. Ramakrishnan, M., Eaton, T. K., Sermet, O. M., & Savaiano, D. A. (2020). Milk Containing A2 β-Casein ONLY, as a Single Meal, Causes Fewer Symptoms of Lactose Intolerance than Milk Containing A1 and A2 β-Caseins in Subjects with Lactose Maldigestion and Intolerance: A Randomized, Double-Blind, Crossover Trial. *Nutrients*, *12*(12), 3855. https://doi.org/10.3390/nu12123855
24. Semwal, R., Joshi, S. K., Semwal, R. B., Sodhi, M., Upadhyaya, K., & Semwal, D. K. (2022). Effects of A1 and A2 variants of β-casein on human health—is β-casomorphin-7 really a harmful peptide in cow milk? *Nutrire*, *47*(1). https://doi.org/10.1186/s41110-022-00159-7
25. Sheng, X., Li, Z., Ni, J., & Yelland, G. (2019). Effects of conventional milk versus milk containing only A2 B-Casein on digestion in Chinese children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, *69*(3), 375–382. https://doi.org/10.1097/mpg.0000000000002437
26. Thiruvengadam, M., Venkidasamy, B., Thirupathi, P., Chung, I., & Subramanian, U. (2020). β-Casomorphin: A complete health perspective. *Food Chemistry*, *337*, 127765. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127765

27. Venn, B., Skeaff, C., Brown, R., Mann, J., & Green, T. (2005). A comparison of the effects of A1 and A2 β-casein protein variants on blood cholesterol concentrations in New Zealand adults. Atherosclerosis, 188(1), 175–178. https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2005.10.020

ULTRA İŞLENMİŞ GIDALAR: GIDA İŞLEME VE FORMÜLASYON DEĞERLENDİRMESİ

Doğa PEKSEVER
Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği,
dogapeksever@gmail.com- 0000-0003-2719-2412

Prof. Dr. Sedef Nehir EL
Ege Üniversitesi, Gıda Mühendisliği,
sedef.el@ege.edu.tr- 0000-0002-2996-0537

ÖZET

NOVA gıdaları uygulanan işleme tekniklerine ve amacına göre gruplandıran ve sınıflayan bir değerlendirmedir. Bu sınıflandırma temelinde gıdalar işlenmemiş veya minimum düzeyde işlenmiş gıdalar, işlenmiş yemeklik katkılar, işlenmiş gıdalar ve ultra işlenmiş gıdalar olmak üzere dört gruba ayrılır. Ultra işlenmiş gıda tüketimi en az bir olumsuz sağlık etkisiyle ilişkilendirilmektedir. Bu sağlık sonuçları yetişkinlerde obezite başta olmak üzere kanser, tip 2 diyabet, kardiyovasküler hastalıklar, hassas bağırsak sendromu, depresyon, çocuklar ve ergenlerde ise kardiyometabolik riskler ve astım gibi hastalıklardır. Bir gıdanın formülasyonu ile işleme yöntemi arasındaki ayrımın yapılması önemlidir. Sağlıklı bir diyetin parçası olarak önerilmeyen gıdaların değerlendirilmesinde, çoğunlukla gıda işleme yönteminden ziyade formülasyon dikkate alınmalıdır. ‘Ultra formüle edilmiş gıdalar’, lezzeti artırmak için eklenen şeker ve diğer kalorili tatlandırıcılar, rafine unlar, doymuş yağlar ve tuz içeriklerinin yüksek olması nedeniyle sağlıksızdır. Gıda işleme ve formülasyonun farklı olduğunun anlaşılması hem gıda teknolojisinin yerine göre gerekliliğinin daha iyi anlaşılmasını hem de sağlık profesyonellerinin sağlıksız olan ve aşırı tüketim ile sağlık sorunlarına katkıda bulunan, besleyici olmayan gıdaları daha iyi tanımlamalarına yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: NOVA gıda sınıflandırması, besin değeri, sağlık etkisi

ULTRA-PROCESSED FOODS: FOOD PROCESSING AND FORMULATION EVALUATION

ABSTRACT

NOVA is an assessment that groups and classifies foods based on the processing techniques applied and their intended purpose. According to this classification, foods are divided into four groups: unprocessed or minimally processed foods, processed culinary ingredients, processed foods, and

ultra-processed foods. Consumption of ultra-processed foods is associated with at least one adverse health effect. These health outcomes include obesity, cancer, type 2 diabetes, cardiovascular diseases, irritable bowel syndrome, and depression in adults, as well as cardiometabolic risks and asthma in children and adolescents. It is important to distinguish between a food's formulation and its processing method. In evaluating foods that are not recommended as part of a healthy diet, formulation is often more relevant than processing methods. 'Ultra-formulated foods' are considered unhealthy due to their high content of added sugars and other caloric sweeteners, refined flours, saturated fats, and salt used to enhance flavor. Understanding the difference between food processing and formulation can lead to a better appreciation of the role of food technology and help health professionals more accurately identify non-nutritive foods that contribute to health problems when overconsumed.

Keywords: NOVA food classification, nutritional value, health impact

1. GİRİŞ

Geleneksel olarak araştırmacılar kilo artışı ve obezite riskinin artmasıyla ilişkili diyet faktörlerini belirlemek için gıdalara, besin değerlerine veya diyet tarzlarına odaklanırken son yıllarda gıda işlemenin rolü araştırılmıştır (Poti ve ark., 2017). Böylece beslenme kalıpları içinde sağlıksız yiyeceklerin bir tanımlayıcısı olarak ultra işlenmiş gıda (UİG) kavramı giderek daha fazla tanınmaktadır (Elizabeth ve ark., 2020). Asgari düzeyde işlenmiş gıdalara yer veren ve evde yemek pişirmeyi ve gıda hazırlamayı vurgulayan geleneksel diyetler, endüstriyel olarak işlenmiş ve hazırlanmış gıda ürünlerinden oluşan diyetlerle yer değiştirmiştir. Artık modern toplumlarda tüketilen gıdaların hemen hemen hepsi işlenmiş gıdalar olarak kabul edilebilir (Poti ve ark., 2017; Moubarac ve ark., 2014).

İşlenmiş gıdalar, üretimlerinde kullanılan işleme türü ve amacı bakımından büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir. NOVA gıda sınıflandırması (Portekizce "yeni sınıflandırma" anlamında) 2009 yılında Brezilya Sao Paulo Üniversitesi'ndeki araştırmacılar tarafından önerilen, gıda işleme seviyelerinin değerlendirilmesi için belirli, tutarlı ve kapsamlı bir çerçeve olarak kabul edilmiştir. Bu sınıflandırma ile gıdalar işlenmemiş veya minimum düzeyde işlenmiş gıdalar, işlenmiş yemeklik katkılar, işlenmiş gıdalar ve UİG'ler olmak üzere dört gruba ayrılır (Poti ve ark., 2017; Moubarac ve ark., 2014). NOVA'ya dayalı çalışmalar, UİG'nin artık yüksek gelirli ülkelerin gıda tedariklerine hâkim olduğunu ve alt-orta ve üst-orta gelirli ülkelerde de giderek bireylerin diyetlerinde yaygın bileşenler haline geldiğini göstermektedir (Monteiro ve ark., 2018). Yüksek gelirli ülkelerde enerji alımının %50'sinden fazlası ve orta gelirli ülkelerde %30'una kadar UİG' lerden sağlanmaktadır. UİG'lerin diyet kalitesine etkisi ve diyetle ilişkili sağlık etkileri için bir risk faktörü olarak algılanması hızla yaygınlaşmaktadır. Bununla birlikte toplum sağlığını iyileştirmeyi amaçlayan stratejilerde UİG'lere sınırlı bir şekilde yer verilmesinde UİG tüketimi ile olumsuz sağlık sonuçları arasındaki ilişkilerin kanıt düzeyinin gözden geçirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Elizabeth ve ark., 2020).

"Ultra işleme" terimi, gıda geliştiricilerinin UİG'leri formüle ederken yaptıkları bileşen seçimlerinden ziyade gelişmiş işleme tekniklerinin kullanımını vurgulamaktadır. Gıda işleme sağlıklı gıdaların üretimine olumlu katkılar sağlayabilir. Örneğin ultrafiltrasyon gibi gelişmiş işleme teknolojileri, genellikle raf ömrünü uzatmak veya işlemeyi daha sürdürülebilir hale getirmek ve gıdaya yeni işlevler sunmak için kullanılır. Püskürtülerek kurutulmuş süt tozundaki lizin kaybının tamburlu kurutmaya göre çok daha düşük düzeyde olması da buna bir örnektir. Bu UİG her gıdanın her zaman sağlıksız gıda anlamına gelmediğini gösterir. Sıklıkla alıntılanan bir örnek olan bebek maması, anne sütünün bulunmadığı durumlarda güvenli ve besleyici bir gıda olarak kabul edilir. Bu yüzden gıda işlemeyi belirli bir gıda sınıfına atamak yerine işleme türünü belirtmek daha iyi bir yaklaşım sayılabilir (Levine ve Ubbink, 2023).

Gıda işlemenin, gıdanın besleyici değeri üzerine etkisini iyi bir şekilde anlamadan UİG olarak kategorize edilmesi tüketici güveninin zayıflamasına sebep olmaktadır. Gıda işleme teknikleri gıdanın besleyici değeri üzerine olumsuz etkiler gösterebileceği gibi, olumlu etkiler sağlayarak daha sağlıklı gıdaların üretimine de olanak verir. Gıda sistemi içerisinde gıda işleme kritik ve temel bir faktördür. Bu yüzden gıda işlemenin tek başına değil gıda üzerindeki etkisi ve formülasyonu ile değerlendirilmesi gerekmektedir.

2. NOVA GIDA SINIFLANDIRMASI

NOVA sistemi, gıdaları, üretimlerinde kullanılan endüstriyel gıda işleme yönteminin doğasına, kapsamına ve amacına göre dört gruba ayırır (Çizelge 1). İşlenmemiş/asgari düzeyde işlenmiş gıdalar (Grup 1), endüstriyel olarak işlenmemiş veya herhangi bir yeni madde (yağ, şeker veya tuz gibi) eklemeyen ancak gıdanın bazı kısımlarının çıkarılmasını içerebilecek şekillerde değiştirilmiş bitki veya hayvan parçaları olarak tanımlanır. Meyve veya sebzeler, taze veya dondurulmuş et, yumurta, süt ve pirinç veya diğer tahıllar işlenmemiş gıdalara örnek olarak gösterilebilir. Grup 2 ise işlenmiş yemeklik katkılar, yağ ve şeker gibi işlenmemiş gıdalardan elde edilen veya tuz gibi doğadan elde edilen maddelerdir. Bunlar genellikle tek başlarına tüketilmezken yemek yapmak için pişirmede işlenmemiş ve asgari düzeyde işlenmiş gıdalarla birlikte kullanılır. İşlenmiş gıdalar (Grup 3), asgari düzeyde işlenmiş gıdalara tuz, yağ, şeker veya diğer katkılar eklenerek üretilir. Bu grup işlenmemiş gıdaların değiştirilmiş versiyonları olarak bilinir. Konserve meyve veya sebzeler, tuzlu kuruyemişler, tütsülenmiş etler ve peynir gibi ürünler örnek gösterilebilir. İşleme spektrumunun en sonunda ise UİG'ler (Grup 4) çok bileşenli endüstriyel formülasyonlar olarak tanımlanır ve şekerle tatlandırılmış içecekler, paketlenmiş ekmekler, kurabiyeler, tuzlu atıştırmalıklar, şekerleme, dondurma, kahvaltılık gevrek ve önceden hazırlanmış dondurulmuş yemekleri içerir (Monteiro ve ark., 2018; Monteiro, 2009).

Çizelge 1. NOVA gıda sınıflandırması örnekler ve uygulanan temel işlemler (Monteiro ve ark., 2019)

Grup 1: İşlenmemiş veya minimum düzeyde işlenmiş gıdalar		
İşlenmemiş (veya doğal) gıdalar, doğadan ayrıldıktan sonra bitkilerin veya hayvanların ve ayrıca	Taze, soğutulmuş, dondurulmuş, vakumlu paketlenmiş meyve ve sebzeler, kurutulmuş meyveler, %100 şekersiz meyve suları, etler, kümes	Temizleme, kesme soyma, rendeleme, kurutma, soğutma, dondurma,

mantarların, alglerin ve suyun yenilebilir kısımlarıdır.	hayvanları ve balık, taze, pastörize ve fermente süt	pastörizasyon, fermantasyon, ayırma, doldurma, paketleme.
Grup 2. İşlenmiş mutfak malzemeleri		
Doğrudan Grup 1 gıdalarından veya doğadan presleme, rafinasyon, öğütme, öğütme ve püskürtmeli kurutma gibi işlemlerle elde edilen maddeler.	Bitkisel yağlar, margarin, tereyağı, krema, domuz yağı dahil olmak üzere işlenmiş mutfak veya gıda endüstrisi bileşenleri; şeker, genel olarak tatlandırıcı, tuz, nişastalar, unlar, "çiğ" makarnalar ve erişteler; yüksek fruktozlu mısır şurubu, süt ve soya proteinleri, sakızlar ve benzeri ürünler dahil olmak üzere genellikle tüketicilere satılmayan gıda bileşenleri	Ekstraksiyon, saflaştırma, pişirme, rafine etme, öğütme, hidrojenasyon, hidroliz, enzim süreçleri.
Grup 3. İşlenmiş Gıdalar		
Grup 1 gıdalara şeker, yağ, tuz veya diğer Grup 2 maddelerinin eklenmesiyle yapılan nispeten basit ürünler. İşlemler, çeşitli muhafaza veya pişirme yöntemlerini ve bazı durumunda alkolsüz fermantasyonu içerir. İşlenmiş gıdaların imalatının temel amacı, Grup 1 gıdaların dayanıklılığını artırmak veya duyusal kalitelerini değiştirmek veya geliştirmektir.	Şişelenmiş veya konservelenmiş sebzeler, meyveler, baklagiller; tuzlu veya şekerli fındık ve tohumlar, tuzlanmış veya tütsülenmiş etler; konserve balık, peynirler ve paketlenmemiş taze ekmekler	Pişirme, kızartma, derin yağda kızartma, tuzlama, dekapaj, tütsüleme.
Grup 4. Ultra İşlenmiş Gıdalar		
Tipik olarak beş veya daha fazla ve genellikle birçok bileşen içeren endüstriyel formülasyonlar. Bu tür bileşenler genellikle şeker, sıvı yağlar, katı yağlar, tuz, antioksidanlar, stabilizatörler ve koruyucular gibi işlenmiş gıdalarda kullanılanları içerir.	Ekmekler, bisküviler/kurabiyeler, şurup içinde konserve meyveler, çikolatalar, şekerlemeler, tahıl çubukları, şeker ilave edilmiş kahvaltılık gevrekler, cipsler, soslar, tuzlu ve tatlı atıştırmalık ürünler, peynirler, şekerli meyve ve sütlü içecekler, dondurulmuş makarna ve pizza yemekleri, konserve veya toz çorbalar, tuzlanmış, salamura edilmiş, tütsülenmiş veya kurutulmuş et ve balık, bebek mamaları	Hidrojenasyon, interesterifikasyon, hidroliz, tütsüleme, kürleme, ekstrüzyon, kalıplama, ön kızartma, konserve, fraksiyonlama.

3. ULTRA İŞLENMİŞ GIDALAR VE SAĞLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

UİG'ler uzun raf ömrüne sahip, her yerde ve her zaman tüketilebilen, aşırı lezzetli ve pazarlama için çekici olacak şekilde üretilen, genel olarak yoğun enerji, sağlıksız yağ türleri, rafine nişastalar, basit şekerler ve tuz bakımından zengin ve protein, diyet lifi ve mikro besin öğesi açısından zayıf

kaynaklar olarak değerlendirilmektedir (Monteiro ve ark., 2018; Barbaresko ve ark., 2025). Bu yüzden yüksek düzeyde UİG içeren diyetler; besleyici değer açısından daha zengin olan işlenmemiş/minimum işlenmiş gıdaların yerini alması, gıda katkı maddeleri içermesi ve uygulanan gıda işleme yöntemleriyle gıda matrislerindeki değişiklikler ile ilişkilendirilmektedir (Martini ve ark., 2021). UİG tüketimi ile sağlık sonuçları arasındaki ilişki yeterince çalışılmamış olup, tartışmalar devam etmektedir (Barbaresko ve ark., 2025). Bu ürünlerin giderek artan üretimi ve tüketimi, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ve Beslenme On Yılı kapsamında kontrol altına alınması ve tersine çevrilmesi gereken bir dünya krizi olarak ele alınmıştır (Monteiro ve ark., 2018).

Fransız prospektif popülasyon tabanlı NutriNet-Santé kohort çalışması (2009–2019) toplam 110.260 yetişkin katılımcı (ortalama yaş= 43.1±14.6 yıl; %78.2 kadın) ile gerçekleştirilmiştir (Beslay ve ark., 2020). Besin tüketimleri başlangıçta, NOVA sınıflandırmasına göre kategorize edilmiş 3.500'den fazla farklı gıda maddesini içeren bir gıda bileşimi veri tabanına bağlı, tekrarlanan ve doğrulanmış 24 saatlik besin tüketim kayıtları kullanılarak toplanmıştır. UİG tüketimi ile beden kütle indeksi artışı arasında pozitif bir ilişki gözlemlenmiş, UİG tüketiminde her %10'luk artış için, fazla kilolu olma riskinin %11, obez olma riskinin ise %9 arttığı saptanmıştır. ELSA-Brezilya kohort çalışmasında (Canhada ve ark., 2020), UİG tüketimi ile obezite arasındaki ilişki ortalama 3.8 yıllık bir takip süresi boyunca değerlendirilmiştir. Toplam enerjilerinin %30.8'inden fazlasını UİG olarak tüketen yetişkinler (en yüksek çeyrek), toplam enerjilerinin %17.8'inden azını UİG olarak tüketen yetişkinlere kıyasla aşırı kilo/obezite açısından %20 daha yüksek risk altında olduğu saptanmıştır. En yüksek çeyrektekiler, UİG tüketiminin en düşük çeyreğindekilere kıyasla, kilo alımı (≥1.68 kg/yıl) riskinde %27 ve bel çevresi artışı (≥2.42 cm/yıl) riskinde %33 artışa sahip olduğu belirlenmiştir. Sürekli analizde, UİG tüketiminde her 15 puanlık artış için, kilo alma riski %12 ve bel çevresi artışı riski %15 artmış olarak saptanmıştır. Dünya çapında farklı popülasyonlar arasında yapılan kesitsel çalışmalar UİG tüketimi ile obezite arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermektedir. Boylamsal çalışmalar ayrıca UİG tüketimi ile obezite gelişimi arasında pozitif bir ilişki olduğunu göstermekte ve UİG tüketiminin obezite riski üzerinde nedensel bir etkiye sahip olabileceğini ileri sürmektedir (Harb ve ark., 2023). Bu ilişkinin nedenselliğini test eden Hall ve arkadaşlarının (2019) randomize kontrollü çalışmasında yüksek UİG'li bir beslenme modelinde yüksek işlenmemiş gıda diyetine kıyasla daha fazla enerji alımı ve ağırlık kazanımı saptanmıştır. UİG'nin obezite riskini artırmasının olası mekanizmaları arasında artan şeker tüketimi nedeniyle artan enerji alımı, azalan lif tüketimi ve azalan protein yoğunluğu yer almaktadır (Harb ve ark., 2023). Nedenselliği belirlemek ve mekanizmaları açıklamak için daha fazla deneysel araştırmaya ihtiyaç duyulsa da kanıtların toplamı yetişkin obezitesinin yönetiminde UİG tüketiminin azaltılmasını içeren tedavi yöntemlerine ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Barbaresko ve arkadaşları (2025) NOVA sınıflandırma sistemi tarafından tanımlandığı şekilde UİG tüketimini ele alarak insan sağlığı üzerindeki kanıtlara genel bir bakış sağlamak amacı 2021-2023 yılları arasında yayınlanan meta-analiz çalışmaları üzerinde sistematik bir tarama yapmıştır. Her türlü nedene bağlı ölüm, kardiyovasküler hastalıktan ölüm oranı, tip 2 diyabet insidansı ve

kolorektal kanser için orta düzeyde kanıt kesinliği saptanmıştır. İnflamatuar bağırsak hastalıkları, obezite, metabolik sendrom, alkole bağımlı olmayan yağlı karaciğer hastalığı, ruh sağlığı ve besleyicilik kalitesi gibi sonuçlar için benzer tahminler gözlemlenmiş olup kanıt kesinliği sınırlı olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, NOVA konseptini tartışırken, gıdaların işlenmesinin artan sağlık risklerine yol açıp açmadığı veya UİG tüketiminin yalnızca düşük diyet kalitesinin bir ölçütü olup olmadığı belirsizliğini koruduğu belirtilmiştir.

Fransa'da 44.551 orta yaşlı yetişkini kapsayan ve ortalama 7.1 yıllık takip süresine dayanan büyük bir prospektif kohort çalışmasında, UİG'leri daha fazla tüketen bireylerde tüm nedenlere bağlı ölüm riskinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Schnabel ve ark., 2019). ABD'de, Üçüncü Ulusal Sağlık ve Beslenme İnceleme Anketinde (NHANES III) 11.898 katılımcının ortalama 19 yıllık takip süresinde UİG tüketiminin sıklığı ile ilişkili olarak tüm nedenlere bağlı ölüm riskinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Kim ve ark., 2019). Prostat, Akciğer, Kolorektal ve Yumurtalık Kanseri Tarama Denemesi'nde 91.891 katılımcının verilerini kullanan büyük bir ABD prospektif kohort çalışmasında ise UİG tüketimi, kardiyovasküler hastalıklardan ölüm riskinin artmasıyla ilişkilendirilmiştir (Zhong ve ark., 2021).

Gıda işleme ve formülasyonunun çeşitli yönlerinin kronik ve inflamatuar hastalıkların etiyolojisi üzerindeki etkilerini inceleyen preklinik ve klinik çalışmalar mevcuttur. UİG tüketimi hakkında yayınlanan epidemiyolojik kanıtlar ve bağırsak mikrobiyotasını içeren çalışmalar Srour ve arkadaşları (2022) tarafından incelenmiştir. Laboratuvar tabanlı preklinik çalışmalar, klinik araştırmalar ve epidemiyolojik çalışmalar sonucunda UİG içeriğindeki yapay tatlandırıcılar, renklendiriciler, emülsifiye ediciler ve nanopartiküllerin bağırsak mikrobiyota bileşimi ve işlevinde değişiklikler oluşturması sebebiyle insan sağlığını etkileyebileceği belirtilmiştir. Gıda işleme sürecinin insan sağlığı üzerindeki etkisini daha iyi anlamak için, özellikle katkı maddeleri arasında hangi faktörlerin rol oynadığını belirlemek için araştırmalara ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

Diyetin sağlık üzerine risk faktörleri arasında belirli gıda maddeleri, gıdalar ve diyet örüntüsü maruziyetlerinin yer aldığı atlanmamalıdır. Gıda bileşenleri maruziyetleri arasında yüksek miktarda sodyum, doymuş yağ, trans yağ ve ilave şeker bulunur. Gıda maruziyetleri arasında düşük miktarda tam tahıllar, meyve, sebze, kuruyemiş ve tohumlar ve balık ve yüksek miktarda kırmızı et, işlenmiş et, patates cipsi ve şekerle tatlandırılmış içecekler bulunur. Diyet örüntüleri arasında ise Sağlıklı Beslenme İndeksi veya Akdeniz Diyet Ölçeği'nde düşük puanlar; Hipertansiyonu Durdurmak İçin Diyet Yaklaşımlarına düşük uyum veya batı diyet örüntüsünde yüksek puan yer almaktadır (Elizabeth ve ark., 2020).

Ultra işlenmiş gıdaların (UİG) sağlık üzerindeki olumsuz etkileri son yıllarda yapılan birçok gözlemsel ve deneysel çalışmayla desteklenmektedir. Ancak bu ilişkinin neden-sonuç doğasında olup olmadığı hala tartışmalıdır. UİG tüketiminin artması ile kilo alımı, obezite ve kardiyometabolik hastalıklar arasında güçlü korelasyonlar bulunmakla birlikte, bu ilişkinin altında yatan mekanizmaların belirlenmesi için daha fazla randomize kontrollü çalışmaya ihtiyaç

duyulmaktadır. Ayrıca, bazı UİG'lerin (örneğin bebek maması veya medikal amaçlı formül ürünler) besleyici değerinin yüksek olması, NOVA sınıflandırmasının tüm UİG'leri aynı risk kategorisinde değerlendirmesini sorgulanabilir kılmaktadır.

4. GIDA İŞLEME VE GIDA FORMÜLASYONU

Gıda işleme; gıdaların daha dayanıklı hale gelmesi ve kolay tüketilebilmesi için dondurma, kurutma, konserveleme gibi uygulamalar ile doğal halinden farklı bir hale getirilmesi olarak açıklanabilir. Gıdaların işlenmesi, insanlara yenilebilir, güvenli ve besleyici gıdalar sağlamada ve gıdaların korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Fakat uygulanan metoda bağlı olarak hem riskler hem de faydalar sağlayabilmektedir (Sadler ve ark., 2021). Gıda işleme metotlarında prosesler ısıl ve ısıl olmayan işlemler olarak ikiye ayrılır. Isıl işlemlerde gıda yüksek sıcaklıklarda işlenirken, ısıl olmayan işlemlerde genellikle yüksek basınç, ultrases, vurgulu elektrik alan, mikrodalga, kızıl ötesi ve soğuk plazma metotları uygulanmaktadır. Gıda işlemenin ana hedefi enzim aktivitesini durdurmak ya da mikroorganizma ve patojenleri öldürerek gıda güvenliği ve korunmasını sağlamaktır. Bunların yanı sıra lezzetlendirme, raf ömrü ve besleyicilik kalitesini arttırmak gibi amaçlar da gıda işlemede hedeflenmektedir (Wang, 2019).

Gıda işlemeden bağımsız olarak ürünün reçetesi ve formülasyonu, gıdaların kalitesini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilir. NOVA sisteminin 3. grubu işlenmiş gıdalar ve 4. grubu UİG, gıdalara lezzetini artırmak ve raf ömrünü uzatmak için tuz, şeker ve yağ eklenmektedir. Renk verici maddeler ve tatlandırıcılar gibi diğer katkı maddeleri özellikle grup 4'teki gıdaların kabul edilebilirliğini artırmak için kullanılabilmektedir. Bu da formüle edilmiş gıdaların aşırı tüketimine yol açmaktadır. Hatta bazıları tarafından bağımlılık yapıcı olarak nitelendirimektedir, bu da obeziteye ve diğer olumsuz sağlık sonuçlarına yol açabilir (Gearhardt ve Schulte, 2021). Buna karşılık, grup 1'deki yüksek yağlı veya kurutulmuş etler gibi formüle edilmemiş, minimal işlenmiş bazı gıdalar, besin öğesi bileşimleri nedeniyle sağlıklı bir diyetin parçası olarak genellikle önerilmez (Heden ve ark., 2022).

Gıdaların besinsel ve diyetle ilgili özelliklerini bağımsız olarak etkileyen iki parametre olarak işleme ve formülasyonu ayrı ayrı dikkate almanın önemi bu iki parametreyi açıkça ortaya koyan bir gıda matrisi ile Levine ve Ubbink (2023) tarafından sunulmuştur (Çizelge 2). Buna göre bir gıdanın sağlıklı bir diyete uygun olup olmadığını belirtmek amacıyla MyPlate (https://www.myplate.gov/) önerilerine dayalı renk kodlaması kullanılmıştır. Geliştirilen matris, işleme ve formülasyonu değerlendirerek gıdaların sağlıklı olup olmadığını renk kodlarıyla göstermektedir. Genellikle işlenme ve formülasyon arttıkça sağlıksız gıdalar artmakta, bu da çoğunlukla lezzet ve cazibeyi artırmak için yapılan bilinçli tercihlerden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 2: Gıda işleme-formülasyon matrisi (Levine ve Ubbink, 2023)

		İşlenme derecesi		
		Minimum	**Orta**	**Yüksek**
Formülasyon derecesi	**Düşük**	**Yeşil:** Taze meyve ve sebzeler Dondurulmuş meyve ve sebzeler Taze balık ve deniz ürünleri Konserve balık **Turuncu:** Pastörize süt Taze ve dondurulmuş et **Kırmızı:** Bal	**Yeşil:** Bitkisel yağlar Tam buğday unu Yağı azaltılmış yoğurt Kahve Tam buğday ekmeği Makarna ve erişte Kahvaltılık gevrekler **Turuncu:** Konserve çorbalar Rafine unlar **Kırmızı:** Tereyağı Tuzlu & kürlenmiş etler Patates cipsi (tuzlu) Peynir	**Yeşil:** Yağı azaltılmış Yunan yoğurdu Süt tozu Ultrafiltre süt Badem sütü **Kırmızı:** Dondurma Kakaolu içecek Tatlılar Çikolata
	Yüksek	**Yeşil:** Hazır salatalar Kuruyemiş karışımı Granola (şekersiz)	**Yeşil:** Guacamole Humus **Kırmızı:** Kurabiyeler Sosisler Gazlı içecekler Meyveli yoğurt (şekerli) Granola (şekerli)	**Yeşil:** Formüle bebek maması Tıbbi beslenme ürünleri **Turuncu:** Tüketime hazır yemekler Bitki bazlı et analogları **Kırmızı:** Şekerli kahvaltılık gevrekler Şekerlemeler Donmuş pizza

Yeşil: MyPlate planına uygun olan gıdalar
Turuncu: İçeriğine ve formülasyonuna bağlı olarak MyPlate planına uygun olabilecek gıdalar
Kırmızı: MyPlate önerilerini karşılamayan gıdalar: 1. Az yağlı veya yağsız süt/süt ürünlerine geçin (veya laktozsuz süt ürünleri ya da güçlendirilmiş soya alternatifleri); 2. Daha az ilave şeker, doymuş yağ ve sodyum içeren gıda ve içecekleri tercih edin.

UİG'ye gıda işleme-formülasyon matrisi sisteminde bakıldığında durum karmaşıktır. Bu grup yalnızca yüksek düzeyde işlenmiş ve yüksek formülasyona sahip gıdaları değil, aynı zamanda yüksek düzeyde işlenmiş ancak nispeten basit formülasyona sahip bazı gıdaları da içerir. NOVA'nın Grup 4'ünde yer alan bazı gıdalar orta düzeyde işlenmiş olmakla birlikte ya basit formülasyona (örneğin sade, tuzlu patates cipsi) ya da karmaşık formülasyona (örneğin kurabiyeler, gazlı içecekler ve şekerli meyveli yoğurt) sahip olabilmektedir. Dolayısıyla, NOVA sisteminde UİG olarak sınıflandırılan gıdalar büyük ölçüde hem yüksek işlenmiş hem de yüksek formülasyona sahip gıdalardır. Bu gıdaların çoğu MyPlate önerileriyle uyumlu olmasa da süt tozu, bebek maması ve bitki bazlı et alternatifleri gibi sağlıklı diyetin bir parçası olabilecek önemli istisnalar da mevcuttur. Ayrıca, basit formülasyona sahip bazı yüksek derecede işlenmiş gıdalar

(örneğin yağı azaltılmış yoğurt, süt tozu, laktozu azaltılmış süt ve çeşitli bitkisel süt alternatifleri) MyPlate önerileriyle uyumludur (Levine ve Ubbink, 2023).

NOVA sistemi, gıda işlemenin derecesine odaklanması nedeniyle beslenme biliminin önemi açısından formülasyonu göz ardı etmektedir. Gıdanın besleyici değeri, yalnızca nasıl işlendiğine değil, aynı zamanda hangi bileşenleri içerdiğine de bağlıdır. Örneğin, düşük şekerli, yüksek lif içeren ancak endüstriyel olarak işlem görmüş bir gıda, ev yapımı ama yüksek şekerli bir üründen daha sağlıklı olabilir. Bu durum, işleme ve formülasyonu birlikte değerlendiren yeni analiz modellerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır.

5. SONUÇ

UİG'lerin aşırı tüketimi çeşitli kronik sağlık sorunları ile anlamlı şekilde ilişkilendirilse de bu ürünlerin sağlık etkileri hem kilo alımı ve metabolik sorunlar üzerinden dolaylı şekilde hem de içerdikleri belirli gıda katkı maddelerinin biyolojik etkileri yoluyla doğrudan ortaya çıkabilmektedir. UİG tüketiminin sağlık üzerindeki olumsuz etkileriyle ilişkili mekanizmaları ortaya çıkaracak daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır. Gıda üretiminde gıda işleme ve gıda formülasyonu terimleri farklı kavramları ifade eder. İkisi de bir ürünün oluşumunda rol oynar ancak besleyici değer üzerine etkileri bakımından ayrışırlar. UİG'nin sadece işlem görmüş olması nedeniyle "kötüleştirilmesi", besleyici, uygun fiyatlı, güvenli, sürdürülebilir ve saklanması kolay gıdaların geliştirilmesinde işleme teknolojisinin rolünün göz ardı edilmesine neden olabilir. Gıdaların besleyici özelliklerini daha doğru değerlendirebilmek için, formülasyonun işleme sürecinden bağımsız olarak ele alınması gerekmektedir. Böylece daha sağlıklı gıdaların geliştirilmesi için bir yol sunulabilir ve beslenme uzmanları, halk sağlığı araştırmacıları ve gıda bilimciler arasında daha açık bir diyalog kurulmasını kolaylaştırılabilir.

KAYNAKÇA

Barbaresko, J., Broeder, J., Conrad, J., Szczerba, E., Lang, A. and Schlesinger, S. (2025). Ultra-processed food consumption and human health: an umbrella review of systematic reviews with meta-analyses. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 65(11), 1999-2007.

Beslay, M., Srour, B., Méjean, C., Allès, B., Fiolet, T., Debras, C., ... and Touvier, M. (2020). Ultra-processed food intake in association with BMI change and risk of overweight and obesity: A prospective analysis of the French NutriNet-Santé cohort. PLoS Medicine, 17(8), e1003256.

Canhada, S. L., Luft, V. C., Giatti, L., Duncan, B. B., Chor, D., da Fonseca, M. D. J. M., ... and Schmidt, M. I. (2020). Ultra-processed foods, incident overweight and obesity, and longitudinal changes in weight and waist circumference: the Brazilian Longitudinal Study of Adult Health (ELSA-Brasil). Public Health Nutrition, 23(6), 1076-1086.

Elizabeth, L., Machado, P., Zinöcker, M., Baker, P. and Lawrence, M. (2020). Ultra-processed foods and health outcomes: a narrative review. Nutrients, 12(7), 1955.

Gearhardt, A. N., & Schulte, E. M. (2021). Is food addictive? A review of the science. Annual Review of Nutrition, 41(1), 387-410.

Hall, K. D., Ayuketah, A., Brychta, R., Cai, H., Cassimatis, T., Chen, K. Y., ... and Zhou, M. (2019). Ultra-processed diets cause excess calorie intake and weight gain: an inpatient randomized controlled trial of ad libitum food intake. Cell Metabolism, 30(1), 67-77.

Harb, A. A., Shechter, A., Koch, P. A. and St-Onge, M. P. (2023). Ultra-processed foods and the development of obesity in adults. European Journal of Clinical Nutrition, 77(6), 619-627.

Kim, H., Hu, E. A. and Rebholz, C. M. (2019). Ultra-processed food intake and mortality in the USA: results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES III, 1988–1994). Public Health Nutrition, 22(10), 1777-1785.

Levine, A. S. and Ubbink, J. (2023). Ultra-processed foods: Processing versus formulation. Obesity Science & Practice, 9(4), 435-439.

Martini, D., Godos, J., Bonaccio, M., Vitaglione, P. and Grosso, G. (2021). Ultra-processed foods and nutritional dietary profile: a meta-analysis of nationally representative samples. Nutrients, 13(10), 3390.

Monteiro, C. A. (2009). Nutrition and health. The issue is not food, nor nutrients, so muchas processing. Public Health Nutrition, 12(5), 729-731.

Monteiro, C. A., Cannon, G., Moubarac, J. C., Levy, R. B., Louzada, M. L. C. and Jaime, P. C. (2018). The UN Decade of Nutrition, the NOVA food classification and the trouble with ultra-processing. Public Health Nutrition, 21(1), 5-17.

Monteiro, C. A., Cannon, G., Levy, R. B., Moubarac, J.-C., Louzada, M. L. C., Rauber, F., Khandpur, N., Cediel, G., Neri, D., Martinez-Steele, E., Baraldi, L. G. and Jaime, P. C. (2019). Ultra-processed foods: What they are and how to identify them. Public Health Nutrition, 22(5)

Moubarac, J. C., Parra, D. C., Cannon, G. and Monteiro, C. A. (2014). Food classification systems based on food processing: significance and implications for policies and actions: a systematic literature review and assessment. Current Obesity Reports, 3, 256-272.

Poti, J. M., Braga, B. and Qin, B. (2017). Ultra-processed food intake and obesity: what really matters for health—processing or nutrient content?. Current Obesity Reports, 6, 420-431.

Sadler, C. R., Grassby, T., Hart, K., Raats, M., Sokolović, M. and Timotijevic, L. (2021). Processed Food Classification: Conceptualisation and Challenges. Trends in Food Science & Technology, 112, 149–162.

Schnabel, L., Kesse-Guyot, E., Allès, B., Touvier, M., Srour, B., Hercberg, S., ... and Julia, C. (2019). Association between ultraprocessed food consumption and risk of mortality among middle-aged adults in France. JAMA Internal Medicine, 179(4), 490-498.

Srour, B., Kordahi, M. C., Bonazzi, E., Deschasaux-Tanguy, M., Touvier, M. and Chassaing, B. (2022). Ultra-processed foods and human health: from epidemiological evidence to mechanistic insights. The Lancet Gastroenterology & Hepatology, 7(12), 1128-1140.

Wang, S. 2019, Chemical Hazards in Thermally-Processed Foods, Springer Nature Singapore

Zhong, G. C., Gu, H. T., Peng, Y., Wang, K., Wu, Y. Q. L., Hu, T. Y., ... and Hao, F. B. (2021). Association of ultra-processed food consumption with cardiovascular mortality in the US population: long-term results from a large prospective multicenter study. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 18, 1-14.

SİNDİRİM KİNETİĞİ TASARLANMIŞ OLEOJEL YAPILARI

Prof. Dr. Sedef Nehir El

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

E-posta: sedef.el@ege.edu.tr- ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2996-0537

ÖZET

Doymuş yağlar, gıda endüstrisinde önemli yapısal ve fonksiyonel e özellikleri ile geniş bir üretim aralığında kullanılmaktadır. Ancak trans yağlar ile doymuş yağların diyetle birlikte alınması kalp ve damar hastalıkları başta olmak üzere pek çok hastalığın riskini beraberinde getirerek, insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Hem yağların gıda üretiminde üstlendikleri yapısal özelliklerin sağlanması hem de sağlık üzerine olumsuz etkilerin azaltılması için oleojelasyon tekniği kullanılmaktadır. Oleojeller sıvı yağların jel-benzeri katı yağlara, düşük miktarda doymuş yağ içerecek şekilde dönüştürülmesi işlemidir (oleojelasyon) ve bitkisel mum gibi bileşenler (jelleştirici madde) kullanılarak az miktarda katı yağın büyük miktarda sıvı yağı hapsederek koruyabildiği katı parçacıklı ağ yapılarıdır. Oleojelasyon işleminde kullanılan yağın çeşidi, oleojelatörün türü ve konsantrasyonu son ürünün reolojik, tekstürel ve termal özelliklerini doğrudan etkilemektedir. İlk olarak 2000 yılında margarin ve katı yağların yerine kullanılmak üzere tasarlanmış olan oleojellerin gıdalarda pratik uygulaması katı parçacık ağ yapısının kırılganlığı nedeniyle henüz tam olarak sağlanamamıştır. Bunun yanısıra tokluk üzerinde zayıf bir etkiye sahip olmaları yine pasif aşırı tüketim ile obeziteye yol açabilmektedirler. Bu nedenle doymamış yağ asitleri açısından zengin oleojeller, potansiyel olarak kardiyovasküler hastalık riskini azaltırken, hala yüksek kalorili bir içeriğe sahip olduğu için obezite sorununa bir çözüm sağlamada başarısızdır. Doymuş yağları ikame etme ve aynı zamanda kalorili içeriği azaltma zorluğunu ele almak için, oleojelin kısmi sindirilirliğini sağlayan yeni uygulamalar zorunlu yağ asitlerini sağlarken, yağlardan daha az kalori sağlama kapasitesinin oluşturulmasına sahiptir. Bu derlemede doymuş yağların yerini alabilecek ve potansiyel olarak kalori alımını ve vücut ağırlığını kontrol etmede etkili kontrollü sindirilirliğe sahip oleojel bazlı sistemlerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Lipit, Oleojel, Yapılandırılmış lipit, Sindirilirlik, Yağ ikamesi

DESIGNED DIGESTIBILITY OF OLEOGEL STRUCTURES

ABSTRACT

Saturated fats are widely used in food production due to their important structural and functional properties. However, consuming trans fats and saturated fats can increase the risk of various diseases, particularly cardiovascular issues, and can negatively impact human health. The oleogelation technique addresses these concerns by providing the structural properties of fats while mitigating their adverse health effects. Oleogels are created by transforming liquid oils into gel-like solid oils with lower amounts of saturated fat. This process involves forming a solid particle network where a small quantity of solid oil is encapsulated and stabilized using components like vegetable wax (the gelling agent). The type of oil and the concentration of the oleogelator used in the oleogelation process significantly influence the rheological, textural, and thermal properties of the final product. Oleogels were originally developed in 2000 as a substitute for. for margarine and solid fats, but practical applications of oleogels in food have not been fully realized due to the fragility of their solid particle network structure. Furthermore, oleogels may have a limited effect on satiety, which can contribute to obesity through passive overeating. Although oleogels rich in unsaturated fatty acids may reduce the risk of cardiovascular disease, they do not effectively address the obesity issue because they often contain high caloric content. To tackle the challenge of replacing saturated fats while also lowering caloric intake, new applications are being explored that allow for a partial digestibility of oleogels. These applications could potentially deliver fewer calories than fats while still providing essential fatty acids. This review aims to examine and evaluate oleogel-based systems with controlled digestibility that can replace saturated fats and help manage calorie intake and body weight.**Keywords**: Lipid, Oleogel, Structured lipid, Digestibility, Fat substitute

GİRİŞ

Son yıllarda insan beslenmesindeki yağların sağlık üzerine etkilerine dair araştırmalar yoğunlaşmıştır. Metabolik sağlık ve istenen seviyelerde trigliserit, yüksek yoğunluklu lipoprotein (HDL), kan basıncı ve glikozun olması, kişilerin yaşam kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir. Aşırı yağlı gıdaların tüketimi koroner kalp hastalığı, inflamasyon, oksidatif stres, vücut ağırlığı artışı, kanser, diyabet ve metabolik sendrom gibi hastalıkların oluşmasına neden olmaktadır (Martins et al. 2020). Özellikle trans yağ ve doymuş yağ asitleri başta kalp ve damar hastalıkları olmak üzere pek çok hastalığa yol açarak insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Trans ve doymuş yağlar diyetle birlikte alındığında Beslenme Rehberleri (Dietary Guidelines) bitkisel kaynaklardan elde edilen tekli ve çoklu doymamış yağ asitlerinin tüketiminin arttırılmasını, doymuş yağ tüketiminin ise günlük enerjinin %10'undan fazla olmamasını önermektedir (Stortz et al. 2012). Doymuş yağlar ve kolesterol, referans değerlerinden daha fazla miktarlarda tüketildiği takdirde "kötü kolesterol" olarak tanımlanan kandaki LDL (Low Density Lipoprotein) miktarında artış gözlemlenmektedir. Son zamanlarda insan sağlığını yakından etkileyen bu faktörler tüketicilerin farkındalığının artmasında yo açarak, yağ içeriği azaltılmış ürünlere olan ilgiyi arttırmıştır (Demiralp ve ark. 2017). Tüketicilerin talepleri ve teknolojik yeniliklerle birlikte gıda endüstrisinde ürün çeşitliliği artarken, doymuş yağların tüketilmesinin insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini en aza indiren alternatif uygulamalar geliştirilmektedir. Fakat gıdalarda doymuş yağların doymamış yağlarla doğrudan değiştirilmesi teknik açıdan zorluk yaratmaktadır. Çünkü katı yağlar gıda endüstrisinde gıdalara fonksiyonel ve istenilen yapısal özellikleri kazandırmak amacıyla geniş ölçüde kullanılmaktadır. Doymuş yağlar, dondurma, çikolata ve et ürünleri de dahil olmak üzere birçok gıdanın ağız hissi ve dokusal özelliklerinden (plastisite, sertlik vb.) sorumludur. Dokusal farklılıkları, yağ sızıntısını ve doymuş yağ ikamesinden kaynaklanan diğer sorunları önlemek için, doymuş yağların işlevselliğine uyan özelliklere sahip doymamış yağ alternatifleri geliştirmek için yeni yağ yapılandırma yöntemleri kullanılmaktadır (Stortz et al. 2012).

Gıda ürünlerinde istenilen özellikler birincil olarak trans ve doymuş yağlar ile sağlanmaktadır. Trans ve doymuş yağlar diyetle birlikte alındığında başta kalp ve damar hastalıkları olmak üzere pek çok hastalığa yol açarak insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Toksöz 2020). Katı yağların doymamış yağlarla ikame edilerek, sağlık üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması için oleojelasyon tekniği geliştirilmiştir (Öz 2020).

Oleojelasyon

Oleojelasyon sıvı yağların jel-benzeri katı yağlara, düşük miktarda doymuş yağ içerecek şekilde dönüştürülmesi işlemidir (Kara 2019) ve ısıyla değişen üç boyutlu jel bir ağ yapı içerisine düşük polariteli organik bir sıvının hapsedildiği mikro yapılı kompleks bir sistem olarak tanımlanmaktadır (Uslu ve Yılmaz 2019). İstenilen fiziksel özelliklere ve gıda uygulamasına göre farklı özelliklere sahip oleojeller üretilebilmektedir. Oleojellerin jel yapısı, düşük doymuş yağ asidi ve trans yağ asidi içerikleri, bileşiminin sıvı yağ ile tamamen aynı olması, yağ asitleri bileşiminde hiçbir değişiklik yapmadan yemeklik yağın katı veya yarı katı hale dönüştürülmesi gibi başlıca avantajları taşımaktadır (Uslu 2020). Oleojelasyon işleminde kullanılan yağın çeşidi, oleojelatörün türü ve konsantrasyonu son ürünün reolojik, tekstürel ve termal özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Gıda uygulamalarında oleojellerin istenen kalite karakteristiklerini sağlayabilmesi, yüzey aktivitesi, lipofilik ve bağlayıcı bölümlerinin olması, doğal kaynaklardan elde edilmesi, ısıl-değişken karakteristiklerinin olması, GRAS (Generally Recognized as Safe) özelliğe sahip olması istenmektedir (Kara 2019). Oleojel oluşumu için iki malzeme gereklidir, bunlardan biri yağ, diğeri ise jelleşme amacıyla kullanılan oleojelatördür. Oleojelasyonu gerçekleştirmek için çok çeşitli organik çözücüler kullanılabilir, ancak gıda uygulamaları için yalnızca yenebilir özellikte olan yağlar kullanılmaktadır. Gıda uygulamalarında oleojelatör olarak genellikle mumlar, etilselüloz, monogliserit ve fitosteroller; yağ olarak ise ayçiçek, mısır, zeytin, fındık ve kanola yağı kullanılmaktadır (Martins et al. 2018, Kara 2019). Ürünün çeşidine göre kullanılacak olan bitkisel yağ türü değişiklik göstermekte olup bitkisel yağın seçiminde yağ asidi profili dikkate alınmaktadır (Demiralp ve ark. 2017, Kara 2019, Badem 2020).

Oleojeller farklı tipte yapılandırıcılardan oluşturulabilir. Bu, farklı jelleşme mekanizmaları ile gerçekleşmektedir. En iyi bilinen jelleşme mekanizmaları şunlardır:

a) Kristal parçacıklı sistemler: Sıvı yağ fazının triaçilgliserol (TAG) partiküllerine hapsedilmesiyle jelleşme meydana gelir. Ayrıca diaçilgliseroller (DAG), monoaçilgliseroller (MAG) ve yağ asitleri, triaçilgliserol (TAG) gibi benzer yapıları oluşturabilirler (Pehlivanoğlu et al. 2016). Uzun hidrokarbon zincirleri belirli bir konsantrasyona ulaştıktan sonra, yağı tutar ve soğuduktan sonra katı yapıyı teşvik edecek kadar güçlü kristalit biçimleri geliştirebilir (Martins et al. 2018).

b) Kendi kendine gelişen yapılar: Bunlar, aynı çekirdeklenme noktasından kaynaklanan tek yönlü kristalin büyümesi (Martins et al. 2018), fitosteroller ve risinoleik asit gibi düşük moleküler ağırlığa sahip jelleştirici ajan kullanılarak oluşurlar. Bu sistemle sarmal ve kıvrımlı kristal şeritler elde edilir (Pehlivanoğlu et al. 2016).

c) Polimer lifleri: Doğrudan veya dolaylı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Polimerler, yağ fazını hapsedecek bir ağ oluşturmak için aralarında çapraz bağlanır veya dolanırlar (Martins et al. 2018). Jelleşme, etil selüloz gibi polimer veya polimerik iplikler kullanan kendi kendine birleşen yapılar tarafından oluşturulur. Hidrofobik bir selüloz olan etilselüloz, kimyasal olarak selülozdan türetilir. Aynı zamanda hidrofobik moleküller olan polisakkaritler ve proteinler de jelleştirme ajanı için kullanılabilir (Pehlivanoğlu et al. 2016).

d) Bazı araştırmacılar diğer yöntemler arasında olan inorganik parçacıklar kullanarak jel ağı elde etmeye çalışmışlardır. Yapılan bir çalışmada ayçiçek yağının jelleştirilmesi için isli silika kullanılmıştır (Pehlivanoğlu et al. 2016).

Genel oleojel üretim metodu; oleojelatörün eritilmesi, oleojelatör ve yağın karıştırılması ve oluşan jelin soğutulması aşamalarından oluşmaktadır. Oleojelatör ve yağdan oluşan karışım, belirli bir sıcaklık değerine ulaştığında kısa süreli olarak tutulur ve 20^{o} C'ye soğutulur. Kullanılan jelin özelliğine göre 4-5^{o}C sıcaklıkta bir gün boyunca bekletilir. Burada bir gün boyunca bekletmenin amacı yağın oleojelatör vasıtası ile oluşturulan bağlar arasında tutunup jel oluşturmasıdır. Oluşan bu jelin özelliklerini koruması; soğutma hızı, kristalleştirme derecesi, yağ ile ağın arasındaki yüzey alanının değişimi, ağın katılığı ve depolama koşulları gibi faktörlere bağlıdır (Badem 2020, Demiralp ve ark. 2017).

Oleojelatör

Sıvı yağın katı hale dönüşümü sırasında 3 boyutlu ağ yapısının oluşumundan oleojelatörler sorumludur. Yaygın olarak kullanılan oleojelatörler; bitkisel mumlar, monodigliseritler, alkoller veya yağ asitleri, fosfolipitler ve fitosterol esterleridir. Jel ajanları hem tek başlarına hem de kombine şekilde kullanılabilir. Buna örnek olarak yağ asitleri-yağ alkolleri, lesitin-sorbitan tristearat, fitosterol-orizanol verilebilir. Ayrıca emülsiyon şeklinde de kullanılabilmektedirler.

Bitkisel yağların jelleştirilmesinde %0,5-2 aralığında düşük molekül ağırlığına sahip jel ajanlarının kullanılabileceği yapılan çalışmalarla belirtilmiştir (Demiralp ve ark. 2017). Kullanılacak oleojelatörlerin gıdaya uygun olması, oleojelatörlerin güvenli, düşük konsantrasyonlarda dahi jel oluşumunda etkili olması, piyasada kolay bulunabilir olması ve ekonomik olması gerekmektedir (Demiralp ve ark. 2017, Kara 2019, Öz 2020). Çalışmalar, mumların %10'dan daha düşük konsantrasyonlarda bile kristalize olma yeteneğine sahip oldukları için en etkili oleojelatörler olduğunu göstermektedir (Pehlivanoğlu et al. 2016). Gıda ve İlaç Dairesi (FDA) gıda katkı listesinde balmumu, karnauba, kandelilla, ayçiçeği ve pirinç kepeği mumları GRAS statüsünde bulunmaktadır (Öğütçü 2014).

Oleojellerin sağlıklı ve fonksiyonel gıda üretiminde kullanım alanları

Oleojeller, spesifik trigliseritler ve oleojelatörler kullanılarak sağlıklı ve fonksiyonel gıda üretiminde kullanım potansiyeline sahiptirler. Bu kullanım potansiyelleri;

- Hedeflenen yağ asitlerini elde etmek,
- Bağlayıcı moleküller (örneğin fitosteroller) ile daha yüksek olan kolesterol seviyelerini düşürmek,
- Trans yağ içeriğini azaltmak,
- Doymuş yağ içeriğini azaltmak,
- İştahı azaltmak,
- Probiyotik ve biyoaktif bileşikleri taşıma sistemleri (Martins et al. 2020, Calligaris et al. 2020, Zhuang et al. 2021).

Oleojellerin gıda uygulamalarında temel olarak beslenme üzerine yarar sağlamalarının yanı sıra yapılarında kullanılan oleojelatörlerin kendilerinin de potansiyel sağlık yararlarının olduğunu bildirilmiştir. Bu çalışmalara şunlar örnek verilebilir; pirinç kepeği ve keten tohumu yağları karışımında palm stearin ve setil laurat veya palm stearin ve setil kaprilat karışımı ile hazırlanan oleojellerle beslenen farelerde daha düşük kolesterol seviyeleri gözlenmesi (Ghosh et al. 2017), yoğurttaki süt yağının fitosterol oleojelleri ile değiştirilmesi sonucunda LDL seviyesinde azalma gözlenmesi (Scharfe and Flöter 2020), hindistancevizi yağının oleojel formunda tüketildiğinde tokluk kan trigliserit seviyesinin çok daha düşük saptanması yağ-su-monogliserit oleojelinin

tüketiminin, yağ-su karışımına kıyasla kan trigliserit, serbest yağ asidi ve insülinin düşük seviyelerine neden olması sayılabilir (Tan et al. 2017).

Oleojellerin sindirilirliği ve düşük sindirilirliğin tasarımı

Sindirim ortamında oleojel sistemlerine ne olduğuna dair bilgiler, bu teknolojinin gıda endüstrisindeki gerçek potansiyelini değerlendirmek için önemlidir aynı zamanda oleojel yapısının sindirim sürecindeki davranışının tasarlanabilmesi için de önemlidir. Oleojellerde, oleojelatörün etkisi ile yağın sindirimi ve kana geçişi daha yavaş gerçekleşmektedir. Bu durumun bir avantaj olarak değerlendirilmesi son yıllarda önem kazanmıştır. Çünkü doymamış yağ asitleri açısından zengin oleojeller, potansiyel olarak kardiyovasküler hastalık riskini azaltmakla birlikte yüksek kalorili bir içeriğe sahiptir. Diyette yağın azaltılması ve obezite sorununa bir çözüm sağlamada başarısızdır. Doymuş yağları ikame etme ve aynı zamanda kalorili içeriği azaltma zorluğunu aşmada olejel yapısının kısmen sindirilirliği üzerine çalışmalar gelecek vaat etmektedir (Okuro et al. 2020, Okuro et al. 2021).

Beslenme bilimlerinde yapılandırılmış matriksler lipit, karbonhidrat sindirimini azaltmak ve biyoaktif bileşiklerin biyoerişebilirliğini arttırmak veya azaltmak için bir strateji olarak kullanılmaktadır. Aynı amaç oleojellerin veya oleojel türevi sistemlerin yapılarının davranışının düzenlenmesi ve sindirilirliklerinin azaltılması içinde geçerlidir (Aguilar et al. 2019, Farooq et al. 2025). Genel olarak, oleojellerde sindirilirlik yaklaşımı, esas olarak jelin parçalanmasına (lipoliz) yol açan fizyolojik etkilere ve oleojelatörün (örneğin, polimerler, kristalin türler, proteinler) hidrolizine doğasına odaklanmaktadır (Okuro et al. 2021). Triaçilgliserollerin (TAG) sindiriminin yağ asidi zincir uzunluğuna göre hidrolizi, kısa zincirli (SCT) > orta zincirli (MCT) > uzun zincirli triaçilgliserol (LCT) şeklindedir. Kısa yağ asidi zincirleri sindirim sıvılarında daha çözünürdürler ve hızlıca lipolize uğrayarak mono, di ve serbest yağ asitleri açığa çıkar, bu ürünler yağ damlacığının yüzeyinden kolayca uzaklaşırlar. Daha uzun yağ asitleri zincirleri ise yağ damlacığının yüzeyinde birikmeye eğilimlidir ve lipazın tutunmasını engellerler (Hu et al. 2025).

Kristalin parçacıklar olarak doğal mumlardan oluşan oleojeller, gıda sınıfı etiketleri ve nispeten düşük maliyetle yüksek bulunabilirlikleri gibi cazip teknolojik yönleriyle en sık kullanılan bileşenlerdir. Mumların gastrointestinal koşullar altında hidrolize edilebildiği gösterilmiştir, ancak bazı çeşitleri lipaz etkisine direnç göstererek zayıf sindirilirlik göstermektedirler. Pirinç

kepeğinden elde edilen kristalin mumundan elde edilen oleojel ile beslenen sıçanlar, kontrol grubuyla kıyaslandığında lipitlerin sindiriminin ve emiliminin zayıfladığı, bunun da dışkıda lipit miktarındaki artışla gözlemlendiği bildirilmiştir (Hu et al. 2025, Farooq et al. 2025). Pinto et al. (2025) etilselülozla jelleştirilen bir oleojeli kandelilla mumu, monogliseritler ve stearik asit gibi geleneksel jelatörler ile jelleştirilen bir olejel içine yerleştirdiklerini dış oleojel yapısı sindirilirken iç jel yapısında yer alan etilselüloz yapısının diyet lifine benzer bir davranışla bağırsaktan büyük ölçüde değişmeden geçtiğini ve yağın bu şekilde kinetik olarak hapsedilmesinin oleojelin *in vitro* sindirilirliğini kontrol oleojellere kıyasla %33'e kadar azalttığını göstermişlerdir.

Oleojel yapılarının jel özelliklerinin yanısıra farklı yapılandırma bileşenlerinin kombinasyonu ile ve hiyerarşik olarak yapılandırılmaları enzim hidrolizine karşı bir bariyer görevi göstererek lipit hidrolizini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Oleojel matrisi, oleojelatörlerin ve/veya ko-oleojelatörlerin eklenmesiyle daha karmaşık hale geldikçe, bu bileşenlerin birbirleriyle veya hatta sindirim molekülleriyle etkileşimleri, sindirilirliklerini etkilemektedir. Bu bileşikler γ-orizanol ile β-sitosterol, monogliseridler ile fitosteroller, lesitin ile meyve mumu, lesitin ile γ-orizanol/β-sitosterol ve etilselüloz ile stearil alkol/stearik asit vb. sayılabilir (Okuro 2020, 2021, Borriello et al. 2022, Ramezani et al. 2024).

Olejel yapılarının enkapsülasyonu da sindirilirliklerinin düzenlenmesinde kullanılan bir stratejidir. Sabet et al. (2024) hem pickering emülsiyonunun hem de elde edilen sprey kurutulmuş kapsüllenmiş oleojelin kısmen sindirildiğini ve bunun da kapsüllenmiş oleojel-içinde-oleojel sisteminde yağ ve geleneksel oleojellere kıyasla daha düşük ve özelleştirilebilir bir lipit sindirimine yol açtığını ortaya koymuştur. Kapsüllenmiş oleojel-içinde-oleojel sisteminin sindirilirliği, kapsüllenmiş oleojel ile dış oleojel arasındaki oranı değiştirerek sindirim kolayca ayarlanabilmektedir ve özelleştirilebilmektedir. Calligaris et al. (2020) tarafından yapılan çalışmada kurkuminoid bileşikleri ile zenginleştirilmiş ayçiçek yağı, %5 (a/a) doymuş monogliseritler, pirinç kepeği mumları veya bir β-sitosterol ve γ-orizanol karışımı eklenerek jelleştirilmiştir. Elde edilen oleojeller, jel ağ yapısındaki reolojik özellikler açısından farklılık göstermiştir. *İn vitro* sindirim süresinin bir fonksiyonu olarak yağ asidi salımı, oleojel yapısından büyük ölçüde etkilenmiştir; oleojel yapısında kuvvetli yapı arttıkça lipoliz derecesi azalmıştır (Fitosterol<Pirinç kepeği mumu<Monogliserit). Diğer taraftan, kristal partiküller (monogliserit ve pirinç kepeği mumu) içeren oleojellerde daha düşük olan kurkuminoidlerin biyoerişilebilirliği

artmıştır. Sonuçlar, oleojel yapılarının biyoaktif bileşiklerin enkapsülasyonunda kullanımıyla hem lipit sindiriminin kontrol edilebildiğini hemde biyoaktif moleküllerin biyoerişebilirliğinin arttırılabileceğini göstermektedir. Ashkar et al. (2019) farklı yağ jelatörlerinin ve oleojelleşme mekanizmalarının kanola yağı oleojellerinin sindirim lipolizi üzerindeki etkisini incelerken, etilselüloz, mono-gliseritler ve di-gliserit ve β-sitosterol + γ-orizanol karışımının oleojellerin sindirim tepkisini nasıl etkilediğini bildirdiler. Kanola yağı oleojelleri kullanan bu çalışma, üç tip jelatörün lipolizi üzerindeki etkisini inceleyerek, jelatör ağının biyoaktiviteyi hedefleyen oleojel yapıların sindirim davranışının modülasyonu üzerindeki etkisini gösterdi. Sindirilebilirlik arasındaki farklılıklar, jelatörün doğasının, moleküler ağırlığın yapısal etkisinin, jelatörlerin konsantrasyonunun ve fiziksel durumun bir sonucuydu. Jelatörlerin moleküler ağırlığındaki ve jel sertliğindeki artış, daha düşük düzeyde lipit parçalanmasına yol açtı. Kontrol (yapılandırılmamış yağ) ile karşılaştırıldığında, mono-gliseritler ve di-gliserit bazlı oleojeller daha yüksek derecede serbest yağ asidi (FFA) salımı gösterdi (%78-91). Buna karşın β-sitosterol + γ-orizanol %39'u aşmayan daha düşük bir lipoliz oranına neden oldu.

Bu çalışmalar, oleojel geliştirmenin gıda endüstrisine sadece bir yağ ikamesi sunmayacağı, aynı zamanda lipit sindirimini modüle etmek ve sağlık yararları sağlamak için uygulanabileceğini göstermektedir. Yağ sindirilirliğinin kısmen azaltılması ile ve biyoaktif moleküllerin gelişmiş biyoerişilebilirliği ile eşleştirilmesi, şu anda halk sağlığı için önemli olan obezite ve kardiyovasküler hastalık riskinin azaltılmasında potansiyel olarak kullanılabilecek fonksiyonel gıda üretimini desteklemektedir.

Bu ümit verici bulgular, doymuş yağların yerini almayı ve potansiyel olarak kalori alımını ve vücut ağırlığını kontrol etme aracı olarak hizmet etmeyi amaçlayan, düzenlenebilir sindirilebilirliğe sahip oleojel bazlı sistemlerin geliştirilmesinin önünü açmaktadır.

SONUÇ

Trans yağ ve yüksek miktarda doymuş yağ asitleri içeriğine sahip gıdaların tüketiminin obezite, kardiyovasküler hastalıklar ve diyabette önemli bir etkisi olduğu bildirilmektedir. Bu durum, gıdalardaki trans ve doymuş yağlara alternatif arayışı oluşturmuştur. Bu alanda yapılan çalışmalarda özellikle son on yılda büyük bir artış gözlenmiş, elde edilen veriler ile diğer yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetli, oda sıcaklığında kıvamlı ancak tamamen sıvı yağ bazlı,

trans yağ içermeyen alternatif ürünler sağlayabilecek oleojelasyon yönteminin uygunluğunu ortaya konmuştur. Geleneksel katı ve yarı katı yağlara göre daha yüksek oranda doymamış yağ asidi içermelerine rağmen, oleojellerin yoğun kalorisi gıdalara dahil ederken bir zorluk teşkil eder. Bu nedenle yeni nesil oleojeller, gıda ürünlerinin diğer özellikleri üzerinde minimum etkiye sahipken tasarlanabilir bir lipit sindirim profiline sahiptirler. Böyle bir sistem için olejelasyonda kullanılan yağ asitlerinin bileşimi, kullanılan oleojelatörler veya oleojellerin enkapsülasyonu gibi uygulamalar umut vaat etmektedir

KAYNAKÇA

Aguilar-Zárate, M., B. A. Macias-Rodriguez, J. F. Toro-Vazquez, and A. G. Marangoni. 2019. "Engineering Rheological Properties of Edible Oleogels with Ethylcellulose and Lecithin." *Carbohydrate Polymers* 205 (February). Elsevier Ltd: 98–105.

Ashkar, Areen, Sharon Laufer, Jasmine Rosen-Kligvasser, Uri Lesmes, and Maya Davidovich-Pinhas. 2019. "Impact of Different Oil Gelators and Oleogelation Mechanisms on Digestive Lipolysis of Canola Oil Oleogels." *Food Hydrocolloids* 97 (December).

Badem, Ş., 2020, "Aspir yağı esaslı farklı oleojellerin elde edilmesi ve keklerin kalitesi üzerine etkilerinin araştırılması" Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.

Borriello, Angela, Nicoletta Antonella Miele, Paolo Masi, Alessandra Aiello, and Silvana Cavella. 2022. "Effect of Fatty Acid Composition of Vegetable Oils on Crystallization and Gelation Kinetics of Oleogels Based on Natural Wax." *Food Chemistry* 375 (May).

Calligaris, Sonia, Marilisa Alongi, Paolo Lucci, and Monica Anese. 2020. "Effect of Different Oleogelators on Lipolysis and Curcuminoid Bioaccessibility upon in Vitro Digestion of Sunflower Oil Oleogels." *Food Chemistry* 314 (June).

Demiralp, Ş.Y., Soncu, E.D. ve Kolsarıcı, N., 2017, "Oleojeller ve emülsifiye et ürünlerinde kullanımı", *Gıda,* 42 (5); 505-513.

Farooq, Shahzad, Muhammad Ijaz Ahmad, Abdullah, Usman Ali, and Hui Zhang. 2025. "A Review of Recent Trends in Structuring Oleogel-Based Emulsions for Food Applications." *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 78 (August).

Ghosh, M., Begg, F., Bhattacharyya, D.K., Bandyopadhya, N. ve Ghosh, M., 2017, "Nutritional evaluation of oleogel made from micronutrient rich edible oils." *Journal of Oleo Science*, 66 (3); 217-226.

Hu, Fang, Liwen Zhang, Yan Zhu, Suyuan Zhao, Wei Xu, Zhenyu Yu, Mingming Zheng, Yibin Zhou, and Shiyi Li. 2025. "Functional Oleogels Constructed by Short- and Long-Chain Acyl

Triacylglycerols: Characterization and in Vitro Simulated Digestion." *Food Chemistry* 487 (September).

Kara, S., 2019, Karnauba ve balmumu vaksları ile hazırlanan oleojellerin DSC ve FT-IR spektroskopisi ile karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Martins, A.J., Vicente, A.A., Cunha, R.L. ve Cerqueira, M.A., 2018, "Edible oleogels: an opportunity for fat replacement in foods." *Food & Function,* 2; 758-773.

Martins, A.J., Vicente, A.A., Pastrana, L.M. ve Cerqueira, M.A., 2020, "Oleogels for development of health-promoting food products." *Food Science and Human Wellness,* 9 (1); 31-39.

Okuro, Paula K., Artur J. Martins, António A. Vicente, and Rosiane L. Cunha. 2020. "Perspective on Oleogelator Mixtures, Structure Design and Behaviour towards Digestibility of Oleogels." *Current Opinion in Food Science* 35 (October).

Okuro, Paula Kiyomi, Tatiana Porto Santos, and Rosiane Lopes Cunha. 2021. "Compositional and Structural Aspects of Hydro- and Oleogels: Similarities and Specificities from the Perspective of Digestibility." *Trends in Food Science & Technology* 111 (May).

Öğütçü, M., 2014, Yemeklik oleojellerin hazırlanması ve gıda ürünü olarak kullanımlarının araştırılması, Doktora Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

Öz, C., 2020, Oleojellerin kokolin üretiminde kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

Pinto, Tiago C., Petri Lassila, Giulia Giannone, Saman Sabet, Sami Hietala, and Fabio Valoppi. 2025. "A Novel Oleogel-in-Oleogel System with Tailorable Digestibility through Kinetic Confinement of the Oil." *Food Hydrocolloids* 167 (November).

Ramezani, Mohsen, Olga Martín-Belloso, and Laura Salvia-Trujillo. 2024. "Influence of Oleogel Composition on Lipid Digestibility and β-Carotene Bioaccessibility during in Vitro Digestion." *Food Chemistry* 456 (October).

Sabet, Saman, Afsane A. Kazerani García, Satu Kirjoranta, Tiago C. Pinto, Mia Siven, Mamata Bhattarai, Luisa Barba, and Fabio Valoppi. 2024. "Development of the First 'Encapsulated Oleogel-in-Oleogel' System with Tailorable Lipid Digestion." *Food Hydrocolloids* 153 (August).

Pehlivanoğlu, H., Demirci, M., Toker, O.S., Konar, N., Karasu, S. ve Sagdıc, O., 2016, "Oleogels, a promising structured oils for decreasing saturated fatty acid concentrations: production and food-based applications." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition,* 58.

Scharfe M., ve Flöter E. 2020, "Oleogelation: from scientific feasibility to applicability in food products." *European Journal of Lipid Science and Technology*, 122 (12); 1-24.

Shi, Y., Zhang, M. ve Bhandari, B., 2021, "Effect of addition of beeswax based oleogel on 3D printing of potato starch-protein system." *Food Structure*, 27; 100176.

Stortz, T.A., Zetzl, A.K., Barbut, S., Cattaruzza, A. ve Marongoni, A.G., 2012, "Edible oleogels in food products to help maximize health benefits and improve nutritional profiles." *Lipid Technology*, 24 (7); 151-154.

Stortz, T.A., Laredo, T. ve Marangoni, A.G., 2015, "The role of lecithin and solvent addition in ethylcellulose-stabilized heat resistant chocolate". *Food Biophysics* 10 (3);253–263.

Tan, S.Y., Peh, E.V.Y., Marongoni, A.G. ve Henry, C.J., 2017, "Effects of liquid oil vs. oleogel co-ingested with a carbohydrate-rich meal on human blood triglycerides, glucose, insulin and appetite". *Food & Function*, 8; 241-249.

Toksöz, B., 2020, Oleojellerin Türk sucuğu üretiminde hayvansal yağ ikamesi olarak kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.

Uslu, E.K., 2020, Emüljel: düşük yağlı ve sağlıklı yapılandırılmış yeni katı yağ kaynakları. Türkiye 13. Gıda Kongresi'nde sunulan bildiri, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Uslu, E.K. ve Yılmaz, E., 2019, "Protein emülsiyon ağıyla yapılandırılmış oleojeller". *Akademik Gıda*, 17(3); 410-416.

Zhuang, X., Gaudino, N., Clark, S. ve Acevedo, N.C., 2021 "Novel lecithin-based oleogels and oleogel emulsions delay lipid oxidation and extend probiotic bacteria survival". *LWT- Food Science and Technology*, 136; 110353.

ALTERNATİF PROTEİN KAYNAKLARININ ENDÜSTRİLEŞMESİNDE AŞILMASI GEREKEN ZORLUKLAR

Gülşah PEKDEMİR

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

E-posta: gulsahpekdemir@gmail.com- ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1507-5286

Sedef Nehir El

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

E-posta: sedef.el@ege.edu.tr- ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2996-0537

ÖZET

Dünya nüfusunun 2050 yılına kadar 10 milyona yaklaşması beklenmektedir. Mevcut gıda sistemlerinin iklim değişikliği ve doğal kaynakların tükenmesi konularında olumsuz etkileri bulunmakta, iklim değişikliği ise gıda üretimini tehdit etmektedir. Gelecekteki beslenme ihtiyaçlarını karşılamak ve gıda sistemlerinin çevresel etkilerini azaltmak için yenilikçi çözümlere ihtiyaç vardır. Bitki bazlı proteinler, kültür et ve mikrobiyal proteinler gibi alternatif protein kaynakları hem çevresel hem de beslenme açısından sürdürülebilir çözümler sunma potansiyeline sahiptir. Ancak bu potansiyelin gerçekleştirilmesi için, üretim teknolojileri, regülasyonlar, gıda güvenliği riskleri ve tüketici algısı gibi konulardaki zorlukların aşılması gerekmektedir. Bu derleme, alternatif protein kaynaklarının endüstriyel ölçekte üretiminde karşılaşılan teknik zorlukları, düzenleyici ve gıda güvenliği konuları ile ilgili sınırlamaları ve tüketici kabulü ile ilgili zorlukları inceleyen çalışmaların literatür taraması yoluyla incelenmesi ve bu zorlukların aşılmasına yönelik stratejilerin değerlendirilmesi üzerine hazırlanmıştır. Bu inceleme, yalnızca teknik inovatif yaklaşımların önemli olmadığını, aynı zamanda düzenleyici çerçevenin netleştirilmesi, tüketici bilgilendirmesinin geliştirilmesi ve toplumsal-kültürel faktörlerin izlenmesi gibi konuların ele alınmasının da önemli olduğunu alternatif protein kaynaklarının daha yaygın kabul görmesi ve sürdürülebilir gıda sistemlerine daha kolay entegrasyonu açısından ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alternatif protein kaynakları, Sürdürülebilir beslenme, Endüstrileşme, Bitki bazlı proteinler, Kültür et, Mikrobiyal proteinler

FROM LAB TO MARKET: OVERCOMİNG CHALLENGES IN SCALİNG ALTERNATİVE PROTEİN SOURCES

ABSTRACT

The world's population is expected to reach 10 billion by 2050. Current food systems play a significant role in climate change and the depletion of natural resources, while climate change poses risks to food production. To address the nutritional demands of future generations and reduce the environmental footprint of food systems, innovative approaches are essential. Alternative protein sources, such as plant-based proteins, cultured meat and microbial proteins, could provide sustainable solutions in terms of environmental sustainability and nutrition. However, realizing this potential requires overcoming challenges related to production technologies, regulatory frameworks, food safety risks and consumer perceptions. This review summarizes existing literature examining the technical challenges encountered in the industrial-scale production of alternative protein sources, as well as the regulatory, food safety and consumer acceptance barriers. Furthermore, it evaluates strategies to overcome these challenges. The review emphasizes that technological innovations are essential, as are clarifying regulatory frameworks, enhancing consumer education and considering socio-cultural factors, to foster wider acceptance of alternative protein sources and facilitate their integration into sustainable food systems.

Keywords: Alternative protein sources, Sustainable nutrition, Scale-up, Plant-based proteins, Cultured meat, Microbial proteins

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu şu anda 8 milyarı geçmiştir ve 2050 yılına gelindiğinde 10 milyara yaklaşacağı öngörülmektedir (United Nations, 2022). Dünyada 2050 yılında bu nüfusu beslemek için en az %70 daha fazla gıda üretilmesi gerekmektedir (FAO, 2017). Ancak mevcut gıda üretim sistemleri hem iklim değişikliğine hem de doğal kaynakların tükenmesine neden olmakta; öte yandan, iklim değişikliği de gıda üretimini ve beslenmeyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu karşılıklı etkileşim, daha sağlıklı beslenme biçimlerine ve daha sürdürülebilir, adil ve dirençli gıda sistemlerine geçişi zorunlu kılmaktadır (IPCC, 2022; EFSA, 2020). Bu dönüşümün gerçekleştirilmesinde ise bilim, teknoloji ve inovasyonun katkısının yaratılması çok önemlidir (FAO, 2021)

Bu çerçevede ortak görüş dönüşüm için yeni ürün ve teknolojilerin geliştirilmesi gerektiğidir. Şimdiye kadar gıda sistemlerinin gelecekteki sürdürülebilirliği, beslenmenin rolünün değiştirilmesi, israfın azaltılması ve tarımsal verimliliğin arttırılması gibi konuları mevcut teknolojiler aracılığıyla araştırılmıştır (Khan et al.; 2021). Birleşmiş Milletler' in 2023 sonuç raporunda, Dünya'da, 2030 yılına kadar sıfır açlığa ulaşmak için, köklü bir değişime ihtiyaç olduğunu bildirmiştir (UN, 2023). Daha sürdürülebilir gıda ve tarım sistemleri için bilgi, beceri ve teknolojilerin gelişimi ve bunlara erişimin desteklenmesi önerilmektedir (UN, 2023).

Sürdürülebilir beslenmeye geçişi destekleyen uygulamalar beş ana başlık altında sınıflandırılmıştır (Pekdemir ve El, 2024). Bu sınıflandırma;
(1) sürdürülebilir tarım uygulamaları,
(2) gıda kalitesini artırma ve izlenebilirliği iyileştirme,
(3) gıda kayıplarını ve doğal kaynak kullanımını azaltma,
(4) sağlıklı ve sürdürülebilir yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesi,
(5) bireylerin sağlıklı beslenme davranışlarını destekleme başlıklarından oluşmaktadır.

Bu uygulamalar arasında, sağlıklı ve sürdürülebilir yeni gıda ürünlerinin geliştirilmesi başlığı hem çevresel hem de sağlık temelli sürdürülebilirlik hedefleri açısından dikkat çekmektedir. Ancak bu potansiyelin gerçekleştirilmesi, yalnızca teknolojik gelişmelerle sınırlı değildir. Bu ürünlerin endüstriyel üretim ölçeğine taşınması, tüketici algısında yer edinmesi ve regülasyon süreçlerine entegrasyonu, endüstrileşme aşamasında karşılaşılan çok yönlü zorluklar arasında yer almaktadır.

Bu derlemede, yeni gıda ürünleri arasında önemli bir yere sahip olan alternatif protein kaynaklarının endüstriyel düzeyde üretiminin önündeki olası engelleri incelemek ve bu engellerin aşılmasına yönelik stratejileri değerlendirmek amacıyla ilgili literatür incelenmiş ve alternatif protein kategorisinde yer alan bitki bazlı proteinler, hücre kültürü ile üretilen et (kültür et) ve mikrobiyal/fermente proteinler ele alınmıştır.

Literatür taraması, alternatif protein kaynaklarının endüstrileşmesindeki zorluklara odaklanan güncel akademik makaleler, sektörel raporlar ve politika belgeleri üzerinden yürütülmüştür. Tarama kapsamında, özellikle 2015 sonrası yayımlanan ve bitki bazlı proteinler, kültür et ve mikrobiyal proteinler alanında teknik, sosyo-kültürel ve düzenleyici zorlukları ele alan kaynaklar tercih edilmiştir. Seçilen çalışmalar, içerik analizi yoluyla değerlendirilmiş; her bir protein türü özelinde endüstrileşmeyi sınırlayıcı unsurlar değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, bu engellerin aşılmasına yönelik öneriler çalışmanın sonuç bölümünde tartışılmıştır.

2. ALTERNATİF PROTEİN KAYNAKLARININ ENDÜSTRİLEŞMESİNDEKİ ZORLUKLAR

Gıda sistemlerinin sürdürülebilirliğini destekleyeceği öngörülen alternatif protein kaynaklarına olan ilgi giderek artmaktadır. Ancak bu ürünlerin ticarileşerek geniş tüketici kitlesine ulaşabilmesi hem üretim teknolojilerinin yaygınlaştırılmasına hem de regülasyon, gıda güvenliği, tüketici algısı, yatırım kararı gibi konulardaki engellerin aşılmasına bağlıdır (Chen ve ark.2013; Stephens et al., 2018).

Bu yaklaşım ile, alternatif protein kategorisinde yer alan üç temel grup olan bitki bazlı proteinler, kültür et ve mikrobiyal proteinler özelinde endüstrileşme sürecini şekillendiren başlıca zorluklar ele alınmış ve zorluklar teknolojik/üretimsel engeller, regülasyon ve gıda güvenliği sorunları ve tüketici kabulü sınıfları altında değerlendirilmiştir.

2.1. Alternatif Protein Kaynaklarının Endüstrileşmesinde Teknolojik ve Üretimsel Zorluklar

2.1.1. Bitki Bazlı Proteinler

Endüstrileşme aşamasında, diğer alternatif proteinlerden daha ileri bir seviyede olsa da bitki bazlı et benzeri ürünlerin endüstriyel ölçekte üretiminde, hâlen bazı teknolojik zorluklar bulunmaktadır. Bitki proteinleri hayvansal etin yapısal, duyusal ve fonksiyonel özelliklerinden farklıdır, bu durum bitki proteinleri ile et benzeri ürünleri oluşturması konusunda zorluk yaratmaktadır. Örneğin, bitki proteinleri daha düşük jel oluşturma, su tutma ve emülsifikasyon kapasitesine sahiptir (Sha & Xiong, 2020).

Bu ürünlerin üretiminde kullanılan yüksek nemli ekstrüzyon teknolojisi, proteinlere lifli yapı kazandırabilmektedir ancak bu teknoloji enerji kullanımı ve ekipman maliyeti açısından küçük ve orta ölçekli üreticiler için sınırlayıcıdır (Dekkers et al., 2018). Proteinlerin lifli bir yapıya dönüştürülmesini sağlayan Shear-cell teknolojisi ve bitki bazlı protein karışımlarının katman katman birleştirilerek et benzeri yapıların üretilmesine imkân tanıyan 3D gıda baskısı gibi alternatif teknolojiler henüz pilot ölçek aşamasındadır (Kyriakopoulou et al., 2019). Üretimde kullanılan protein ekstraksiyon yöntemleri de sürecin etkinliğini etkilemektedir. Islak ekstraksiyon yöntemi yüksek saflıkta ürün sağlarken yüksek enerji ve su tüketimi gibi olumsuz yönleri barındırmakta; kuru fraksiyonlama ise düşük maliyetli olmasına rağmen fonksiyonel bileşenin kalitesi açısından yetersiz kalabilmektedir (Schutyser et al., 2015; Boye et al., 2010).

Ayrıca, bitki proteinlerinin doğası gereği içerdiği istenmeyen aromatik bileşik birçok işlemden geçmesine rağmen hâlen üründe kalabilmekte; bu durum ise tüketici kabulünü düşürmektedir. Bu nedenle, aroma maskeleme ve "et benzeri" lezzet profilleri oluşturmak, üreticiler için başlıca formülasyon zorlukları arasında yer almaktadır (Tso & Forde, 2021) Bunun yanı sıra, bitki kaynaklı proteinlerin işlenmesinde fitik asit, lektinler, proteaz inhibitörleri ve saponinler gibi antinutrisyonel bileşiklerin varlığı da önemli bir zorluk oluşturmaktadır. Bu bileşikler, protein sindirimi ve mineral biyoyararlılığını olumsuz etkileyebilmekte; bu nedenle işleme sırasında etkin bir şekilde uzaklaştırılmaları gerekmektedir (Joshi & Kumar, 2015; Petroski & Minich, 2020; Rousseau et al., 2019). Farklı termal işlemler, fermentasyon, filizlendirme ve enzimatik hidroliz gibi teknolojiler antinutrisyonel faktörlerin seviyelerini önemli ölçüde azaltabilmekte; ancak bu maddelerin tamamen elimine edilmesi genellikle mümkün olamamaktadır (Samtiya et al., 2020). İşleme teknolojilerinin bu bileşiklerin etkin azaltımını sağlaması, ürünün besin kalitesi ve tüketici kabulü açısından kritik önemdedir.

2.1.2. Mikrobiyal Proteinler

Fermente mikrobiyal proteinlerin endüstriyel üretimi hem biyoteknoloji hem de işleme teknolojileri açısından çeşitli zorluklar taşımaktadır. Özellikle ölçeklendirme aşamasında biyoreaktör tasarımı, oksijen transferi, viskozite yönetimi ve proses stabilitesi kritik sınırlayıcı faktörlerdir (Ritala et al., 2017; Finnigan et al., 2019). Bu zorluklar hem biyolojik sistemlerin karmaşıklığından hem de endüstriyel ölçekte üretim gerekliliklerinden kaynaklanmaktadır.

Finnigan et al. (2019) mycoprotein üretiminin endüstriyel boyuta taşınmasında biyoreaktör tasarımı, oksijen transferinin sağlanması, viskozite yönetimi ve proses stabilitesinin korunmasının başlıca sınırlayıcı faktörler olduğunu belirtmektedir. Mikrobiyal kültürlerin yüksek viskoziteli yapıları, oksijen transferini sınırlayarak hücre büyümesini olumsuz etkileyebilmekte; bu da daha gelişmiş havalandırma ve karıştırma sistemlerini zorunlu kılmaktadır.

Benzer şekilde, *Ritala et al.* (2017) çalışması, mikrobiyal protein üretiminde karşılaşılan başlıca zorlukları üç başlık altında toplamaktadır: (i) besiyeri formülasyonunda maliyet etkinliği ve sürdürülebilirlik; (ii) biyoreaktör koşullarının optimizasyonu ve mikrobiyal verim; (iii) hasat sonrası işlemler gibi enerji ve maliyet yoğun aşamalar. Özellikle hücre duvarlarının parçalanması, nükleik asitlerin uzaklaştırılması ve ürünün kurutulması gibi işlemler, üretim sürecinin verimliliğini düşüren teknik engeller arasında yer almaktadır (Ritala et al., 2017).

Uppsala Üniversitesi'ne ait bir tez çalışmasında da filamentli mantarların kullanıldığı mikrobiyal protein üretiminde akışkanlık, yapı, viskozite gibi reolojik özelliklerin üretim süreci üzerinde doğrudan etkili olduğu belirtilmektedir. Bu reolojik değişkenlik hem proses kontrolünü hem de biyoreaktör tasarımını karmaşıklaştırmakta ve özellikle sürekli üretim sistemlerinde prosesin istikrarını tehdit etmektedir (Uppsala Univ., 2022).

Ayrıca, 2024 yılında yayınlanan bir derlemede yeni mikrobiyal protein kaynaklarının üretiminde kullanılan ekstraksiyon teknolojilerinin hâlen erken aşamada olduğu ve mevcut tekniklerin hem maliyet hem de gıda güvenliği açısından optimize edilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Aynı çalışmada, gıda endüstrisi atıkları ve yan ürünlerinin substrat olarak kullanımı sürdürülebilirlik açısından önemli görülse de bu ham maddelerdeki bileşen değişkenliği ve potansiyel kontaminasyon riski gibi unsurlar üretim sürecini olumsuz etkilemektedir (Jain Et al.,2024). Mikrobiyal proteinlerin endüstriyel düzeyde sürdürülebilir ve ölçeklenebilir biçimde üretilebilmesi için, multidisipliner bir Ar-Ge yaklaşımı öngörülmektedir.

2.1.3. Kültür Et

Kültür etin laboratuvar ölçeğinden ticari üretime geçişi, bazı teknolojik ve üretimsel engellerle karşı karşıyadır. Bu süreçte, hücre kaynaklarının seçimi, iskelet yapıları, büyüme ortamları, biyoreaktör sistemleri ve kalite kontrol süreçleri gibi aşamalarında büyük zorluklar bulunmaktadır. Kültür et üretiminde hangi hücre türünün seçileceği ve bu hücrelerin farklı dokulara dönüşebilme yeteneği önemli bir teknik zorluklardır. Hızla çoğalabilen, kararlı ve uzun süre kullanılabilir hücrelerin geliştirilmesi ise hâlâ araştırma aşamasındadır (Martins et al., 2023; Zhang et al., 2020). Ayrıca hücrelerin et gibi bir yapı oluşturabilmesi için doğru ortamda büyütülmeleri gerekir. Bu süreçte, hücrelerin tutunup şekil almasını sağlayan iskelet yapıları çok önemlidir. Ancak günümüzde kullanılan bu yapılar ya yenilebilir değildir ya da yeterince sağlam bir destek sunamamaktadır (Ben-Arye et al., 2020).

Biyoreaktör sistemleri de endüstriyel ölçekleme açısından önemli bir darboğaz oluşturmaktadır. Geleneksel biyoreaktör teknolojileri, homojen büyüme ortamı ve oksijen dağılımı sağlamakta yetersiz kalmakta, bu da hücre verimliliğini azaltmaktadır (Zhang et al., 2020). Özellikle üç boyutlu

(3D) doku üretimi söz konusu olduğunda, ölçek büyütme sırasında hem difüzyon sınırlamaları hem de hücre ölüm oranı artmaktadır (O'Neill et al., 2021). Üretimsel zorlukların yanı sıra, kalite kontrol süreçleri de kültür etin piyasaya sürülmesinde kritik bir rol oynamaktadır. FAO (2020) raporunda, kültür etin mikrobiyolojik güvenliği, yapısal bütünlüğü ve besin içeriğinin standardizasyonuna ilişkin değerlendirme ve regülasyon süreçlerinin halen gelişmekte olduğu belirtilmektedir.

Sonuç olarak, kültür etin endüstriyel ölçekte üretilmesi için yalnızca biyoteknolojik gelişmeler değil, aynı zamanda üretim mühendisliği, maliyet optimizasyonu ve standartlaştırılmış kalite kontrol sistemleri de büyük önem taşımaktadır.

2.2. Alternatif Protein Kaynaklarının Endüstrileşmesinde Regülasyon ve Gıda Güvenliği Zorlukları

Alternatif protein kaynaklarının endüstrileşmesinde en kritik engellerden biri, bu ürünlerin düzenleyici sistemlerce nasıl sınıflandırılacağı, tüketiciye nasıl sunulacağı ve güvenliklerinin nasıl değerlendirileceği konularındaki belirsizliktir. Bu zorluklar, ürünlerin "yeni gıda (novel food)" statüsünde değerlendirilmesi, etiketi, izlenebilirliği, helal/koşer hassasiyetleri ve gıda güvenliği algısı gibi birçok faktörü kapsamaktadır. Aşağıda, her bir alternatif protein türü özelinde bu regülasyon zorlukları ayrı ayrı ele alınmıştır.

2.2.1. Bitki Bazlı Proteinler

Bitki bazlı protein ürünleri, "et", "süt", "peynir" gibi geleneksel hayvansal gıda terimlerinin kullanımı konusunda hem hukuki hem de toplumsal düzeyde tartışmalara neden olmaktadır. Avrupa Adalet Divanı'nın 2017 tarihli kararında, "süt", "yoğurt" ve "peynir" gibi terimlerin bitki bazlı ürünlerde kullanımının tüketiciyi yanıltabileceği gerekçesiyle yasaklanması kararlaştırılmıştır (European Court of Justice [ECJ], 2017**).** Avrupa Parlamentosu ise "burger" gibi terimlerin kullanımını üye ülkelerin düzenlemesine bırakmıştır. Bununla birlikte, bitki bazlı ürünlerin pazarlanmasında karşılaşılan sorunlar yalnızca terimsel sınırlamalar değildir. Bu ürünler yüksek oranda işlenmiş olmaları ve çok çeşitli katkı maddeleri içermeleri nedeniyle ultra işlenmiş gıda tanımına girerek, tüketicilerin; "temiz etiket" (clean label) beklentisini karşılayamamaktadır. Bu durum, doğal ve sağlıklı gıda algısı ile çelişmekte ve tüketici güvenini zedeleyebilmektedir (Asioli et al., 2017; Tso ve Forde, 2021). Avrupa Birliği'nde bu ürünlerin düzenleyici statüsünün hala net olmadığından, gıda güvenliği, pazarlama ve tüketici bilgilendirme başlıklarında kapsamlı mevzuat eksikliklerinin olduğu vurgulanmaktadır (European Parliament, 2024; FAO, 2020).

FAO'nun (2020) raporuna göre, bitki bazlı et alternatifleri geniş bir içerik yelpazesiyle üretilmektedir. Ancak bu çeşitlilik, üretim sürecinde mikrobiyolojik ve kimyasal bulaşma risklerini artırabilmektedir. Özellikle yüksek nem ve nötr pH gibi özellikler, gıda kaynaklı patojenlerin gelişimi için uygun koşullar yaratmaktadır. Ticari ürünlerde bozulmaya neden olan mikroorganizmaların tespit edilmesi, bu riskin pratikte de geçerli olduğunu göstermektedir (FAO, 2020). Good Food Institute (GFI) 2024 tarihli Küresel Politika Durumu raporuna göre, birçok ülke, bitki bazlı ürünler için net kategori tanımları ve etiketleme kuralları oluşturmaya başlamıştır.

Ancak bu süreç, gıda endüstrisinin inovasyon hızı ile regülasyonların yavaşlığı arasında önemli bir boşluk yaratmaktadır. Bu bağlamda Türkiye'de de yasal çerçevenin henüz netleşmediği, ancak Tarım ve Orman Bakanlığı'nın 2023 yılı itibariyle bu ürünler için özel bir yasal kategori oluşturmayı değerlendirmeye aldığı bilinmektedir.

2.2.2. Mikrobiyal Proteinler

Mikrobiyal proteinler Avrupa Birliği'nde 2015/2283 sayılı Novel Food düzenlemesi kapsamında değerlendirilmektedir ve bu kapsamda EFSA tarafından ürünlerin toksikolojik, alerjenik ve üretimsel açılardan detaylı biçimde incelenmesi gerekmektedir (EFSA Panel, 2021). ABD'de ise bu tür proteinlerin gıda güvenliği değerlendirmesi "GRAS" (Generally Recognized As Safe) bildirimleri yoluyla FDA tarafından yapılmaktadır (FDA, 2020). Ancak mikrobiyal türler arasında büyük biyolojik çeşitlilik bulunması, standardize bir değerlendirme süreci geliştirmeyi zorlaştırmaktadır.

Mikrobiyal proteinlerin tüketici güvenliği açısından değerlendirilmesinde üç temel risk ön plana çıkmaktadır: alerjenite, toksin üretimi ve üretim sırasında oluşabilecek kontaminasyon. FAO (2020) raporuna göre, *Fusarium venenatum* gibi küf türlerinden elde edilen mycoproteinlerin bazı bireylerde alerjik reaksiyona yol açabileceği gösterilmiştir. Özellikle bu türlere karşı daha önce solunum yoluyla duyarlılık geliştirmiş bireylerde, gıda alımıyla da çapraz reaksiyonlar görülebilmektedir. Bunun yanı sıra, bazı kullanıcı bildirimlerinde mycoprotein tüketimine bağlı olarak gastrointestinal rahatsızlıklar ve nadiren anafilaksi rapor edilmiştir (Jacobson ve DePorter, 2018). Toksikolojik açıdan değerlendirildiğinde, fermantasyon sürecinde mikotoksin üretimi riski düşük olsa da üretim ortamlarının izlenmesi ve partilere özgü analizler ile takip edilmesi gerekmektedir. FAO (2020), mikrobiyal proteinlerin gıda güvenliği değerlendirmesinde HACCP sisteminin etkili bir temel oluşturduğunu belirtmekle birlikte, bu sistemin kurulması ve uygulanması sırasında moleküler karakterizasyon (mikroorganizmanın genetik düzeyde tanımlanması ve doğrulanması), toksikolojik ve alerjenik değerlendirme, izlenebilirlik ve biyogüvenlik unsurlarının da bütüncül olarak dikkate alınmasını önermektedir.

Etiketleme ve isimlendirme konusu da bu ürünlerin pazarlanmasında önemli bir zorluk teşkil etmektedir. "Mikrobiyal protein", "fermente protein" veya "filamentöz mantar bazlı protein" gibi ifadeler tüketicilerde doğallıktan uzaklık algısı yaratabilirken, "protein kaynağı" ya da "et alternatifi" gibi terimlerin kullanımı ise tüketiciyi yanıltıcı ifadeler olarak yasal engellere takılabilmektedir (Asioli et al., 2017). Bu nedenle FAO hem yasa yapıcılara hem de üreticilere tüketici algısını dikkate alan şeffaf ama anlaşılır etiketleme stratejileri geliştirmeyi önermektedir.

2.2.3. Kültür Et

Kültür et, laboratuvar ortamında hayvan hücrelerinden elde edilen bir et alternatifi olup, birçok ülkede hala "yeni gıda" statüsünde değerlendirilmekte ve geleneksel regülasyon sistemlerinin dışında kalmaktadır. Avrupa Birliği, kültür eti 2015/2283 sayılı Novel Food Yönetmeliği kapsamına almıştır. Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA) bu ürünleri toksikolojik, genetik ve mikrobiyolojik açılardan kapsamlı olarak incelemektedir (EFSA, 2021). ABD'de ise bu alanda iki

taraflı bir denetim sistemi mevcuttur: FDA (Gıda ve İlaç Dairesi), üretim sürecinin hücresel aşamalarından; USDA (Tarım Bakanlığı) ise ürünün son işlenme ve etiketleme süreçlerinden sorumludur. 2023 yılında UPSIDE Foods ve GOOD Meat, FDA ve USDA'dan onay alarak ABD'de satış izni alan ilk kültür et üreticileri olmuştur (GFI, 2024).

Kültür etin gıda güvenliği değerlendirmesinde; hücre kaynağının genetik stabilitesi, hücrelerin büyümesini destekleyen iskelet (scaffold) materyallerinin biyouyumluluğu (yapısal destek sağlarken zararlı etki göstermemesi ve potansiyel alerjen içermemesi), büyüme ortamında yer alan serum ve benzeri bileşenlerin kalıntı riski ile nihai üründeki mikrobiyolojik yük dikkate alınmalıdır. Özellikle FAO (2020), hayvansal kaynaklı serumların kontaminasyon riski taşıdığını belirtmekte ve yenilebilir, alerjen içermeyen iskelet bileşenlerinin tercih edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Ürünün "et" olarak adlandırılması ise hem etik hem de yasal düzeyde tartışmalıdır. Tüketicilerin bu ürünleri nasıl algıladığı; doğallık, hayvan refahı ve sağlık temelli görüşlerle şekillenmektedir. Bryant ve Barnett (2020), kültür etin etik avantajlarına rağmen tüketici algısının hala belirsiz ve kararsız olduğunu göstermektedir. GFI'nin 2024 tarihli Küresel Politika Durumu raporuna göre, kültür etin yasal statüsü ülkeler arasında büyük farklılık göstermektedir. Singapur bu alanda öncü ülke konumundayken, İtalya ve ABD'nin bazı eyaletleri kültür et üretimini ya kısıtlamış ya da tamamen yasaklamayı gündeme almıştır.

Türkiye'de kültür et ile ilgili açık ve ürün bazlı bir mevzuat hâlen bulunmamaktadır. 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu ve Türk Gıda Kodeksi çerçeve niteliği taşısa da kültür etin "et", "yeni gıda" ya da "gıda takviyesi" olarak sınıflandırılması hala belirsiz durumdadır.

Bu regülasyonlara bağlı zorluklar, alternatif proteinlerin pazara giriş süresini uzatmakta, güvenlik algısını olumsuz etkileyebilmekte ve tüketici bilgilendirmesinde karmaşaya neden olabilmektedir. Dolayısıyla, düzenleyici kurumlar arasında uluslararası uyumun artırılması, onay süreçlerinin şeffaflaştırılması ve bilimsel kanıtlarla desteklenen güvenlik protokollerinin uygulanması, kültür etin endüstriyel ölçekli üretim ve ticarileşmesi açısından kritik önemdedir.

2.3. Tüketici Kabulü ve Algısal Engeller

2.3.1. Bitki Bazlı Proteinler

Bitki bazlı protein ürünlerinin yaygınlaşmasındaki en önemli zorluklardan biri, tüketicilerin geleneksel et ürünlerine benzer tat, doku ve aroma beklentilerinin yeterince karşılanamamasıdır. Yapılan araştırmalar, bu ürünlerin et ile duyusal açıdan tam eşdeğerliğe ulaşamadığı durumlarda tüketici memnuniyetinin ve tekrar satın alma eğiliminin azaldığını ortaya koymaktadır (Joshi & Kumar, 2015; Tso & Forde, 2021; Michel et al., 2021). Hartmann & Siegrist'in (2021) çalışmasında da tamamen bitkisel bileşenlerden üretilen et alternatiflerinin çoğunlukla etin tat, doku ve aroma özelliklerini yeterince taklit edemediği ve bu nedenle daha çok bitki bazlı lezzetlere açık tüketici gruplarıyla sınırlı kaldığı belirtilmektedir. Bu bulgular, bitki bazlı ürünlerin kitlelere

yayılması için yalnızca besinsel avantajların değil, duyusal özelliklerin de iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Etik, çevresel ve hayvan refahına dayalı pazarlama mesajları çevre duyarlı, eğitimli ve genç tüketici gruplarında etkili olsa da, geniş tüketici kitlesine ulaşılabilmesi için ürünün tat, doku, aroma, besleyicilik ve fiyat gibi geleneksel tüketim kriterlerinde de tatmin edici bir performans sergilemesi gerekmektedir. Hoek et al. (2011) çalışmasında, değer temelli motivasyonlarla bu ürünleri deneyen tüketicilerin, tatmin edici bir duyusal deneyim yaşamadıklarında tekrar satın almaktan kaçındığı, dolayısıyla etik faydaların ancak işlevsel faydalarla desteklenmesi hâlinde sürdürülebilir bir kabul yaratabildiği gösterilmiştir.

Bununla birlikte, içerik listelerinin uzunluğu ve katkı maddelerinin varlığı, özellikle temiz etiket beklentisi taşıyan kişilerde güven kaybına yol açabilmektedir. Bitki bazlı ürünlerin sağlıklı ve doğal bir alternatif sunma vaadi, bu ürünlerin yoğun işlenmiş olması ve katkı içermesiyle çelişmektedir (Asioli et al., 2017; Tso & Forde, 2021). FAO'nun (2021) öngörü raporuna göre, bu ürünlerde yer alan bağlayıcılar, aroma vericiler, tatlandırıcılar ve vitamin-mineral takviyeleri gibi içerikler, tüketiciler tarafından daha az doğal olarak algılanmaktadır.

2.3.2. Mikrobiyal Proteinler

Mikrobiyal proteinlerin tüketici kabulünde de karşılaşılan temel engellerden biri, bu ürünlerin doğal olmayan veya işlenmiş olarak algılanmasıdır. Mikrop, mantar veya laboratuvar gibi çağrışım yapan kelimeler, bu ürünlerin yapay olarak değerlendirilmesine neden olabilmektedir (Asioli et al., 2017; Siegrist ve Hartmann, 2020). Özellikle tek hücre proteini (single-cell protein) gibi teknik terimlerin tüketici tarafından anlaşılması zordur; bu durum güven sorunu ve algısal mesafeye yol açmaktadır (Frewer et al., 2011). Yapılan çalışmalarda, bu ürünlerin teknik isimlendirme biçimlerinin tüketici algısı üzerinde doğrudan etkili olduğu vurgulanmaktadır. Örneğin fungal protein ya da fermente mikrobiyal bileşen gibi ifadeler bilimsel olarak doğru olsa da bazı tüketiciler tarafından tiksindirici bulunabilmektedir (Bryant ve Barnett, 2020).

Ürünlerin duyusal özellikleri de mikrobiyal proteinlerin kabulünde belirleyici bir rol oynamaktadır. Michel et al. (2021) çalışmasına göre, tat, doku ve aroma gibi unsurlar, özellikle et benzeri beklentiye sahip tüketiciler için önemlidir. Mikoprotein gibi ürünler lifli yapı ve yüksek protein içeriği gibi teknik avantajlara sahip olsa da bazı tüketiciler bu ürünlerin tat ve doku açısından geleneksel etten farklı olduğunu belirtmiştir (Finnigan et al., 2019). Ayrıca, ürünlerin sunum biçimi, özellikle kullanılan terminoloji ve görsel anlatım, tüketicinin bu ürünleri bir yiyecek mi yoksa biyoteknolojik madde mi olarak algılamasını etkileyebilmektedir. Siddiqui et al. (2022) çalışması, fermente gıdalara aşinalığın yüksek olduğu toplumlarda mikrobiyal proteinlere karşı daha olumlu tutumlar geliştiğini, buna karşılık bu ürünlere yabancı olan coğrafyalarda ise gıda neofobisinden kaynaklanan çekincelerin tüketici kabulünü zorlaştırabileceğini ortaya koymuştur.

Çizelge 1'de, literatürde en sık vurgulanan tüketici algısına dayalı bariyerler özetlenmiştir. Farklı protein türleri için doğallık algısı, bilgi düzeyi, duyusal beklentiler, etik değer uyumu ve kültürel/dini hassasiyetlere ilişkin öne çıkan eğilimler karşılaştırmalı biçimde sunulmuştur. Tabloda

yer alan bulgular, sistematik derlemeler (ör. Siegrist & Hartmann, 2020; Bryant & Barnett, 2020), deneysel çalışmalar (Wilks & Phillips, 2017; Slade, 2018) ve tüketici algısı odaklı güncel incelemeler (Michel et al., 2021; Verbeke et al., 2021; Siddiqui et al., 2022) esas alınarak yapılandırılmıştır.

2.3.3. Kültür Et

Kültür et ürünleri ile ilgili en önemli tüketici algısı zorluğu doğallıkla ilgili duygusal bariyerlerdir. Laboratuvarda üretilmiş ya da yapay et gibi ifadeler, ürünü teknoloji ürünü olarak konumlandırmakta ve bu durum tüketicinin ürüne mesafeli yaklaşmasına neden olmaktadır (Siegrist & Hartmann, 2020). Yapılan deneysel çalışmalar, kültür etin doğal olarak algılanmamasının ürünün kabul oranlarını düşürdüğünü göstermektedir. Örneğin, Hartmann & Siegrist (2017), tüketicilerin doğallık algısı zayıf olan gıdalara karşı genel bir direnç geliştirdiğini belirtmiştir. Siegrist & Hartmann (2020) ise, kültür etin teknolojik bir ürün olarak ifade edildiğinde, ürüne yönelik tutumların belirgin biçimde daha olumsuz olduğunu ortaya koymuştur. Wilks et al. (2021) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, "doğal olmayan" algısının kültür ete karşı oluşan tiksinti tepkisini artırarak satın alma isteğini azalttığı belirlenmiştir. Kültür et, geleneksel et ile duyusal olarak benzer olsa bile, üretim yönteminin doğallıktan uzak olarak algılanması, tüketicinin ürünü farklı değerlendirmesine neden olabilmektedir.

Doğallık algısı ile ilgili bariyer, ürün hakkındaki bilgi eksikliği ile de birleştiğinde güven sorunları derinleşmektedir. Özellikle kültür ortamları, büyüme faktörleri ve iskelet materyalleri gibi üretim bileşenlerine dair kamuya açık ve sadeleştirilmiş bilginin eksikliği, tüketici endişelerini artırmaktadır (Wilks & Phillips, 2017). Bazı çalışmalar, kültür ete yönelik olumsuz tüketici tutumlarının yalnızca ürünün niteliğinden değil, aynı zamanda nasıl sunulduğundan da etkilendiğini göstermektedir. Özellikle çevresel zararlar veya hayvan refahı sorunları kapsamında yapılan bilgilendirmelerin, tüketici algısını daha olumlu hale getirebildiği belirtilmektedir (Baum, Verbeke & De Steur, 2022).

Kültür etin kabulünü artırmaya yönelik çalışmalarda, bilgilendirici ve stratejik çerçeveleme yöntemlerinin etkili olduğu görülmektedir. Bu çerçevede, ürünün doğrudan övgüsüne dayanmayan; aksine, geleneksel et üretiminin çevresel zararları veya hayvan refahı sorunlarını vurgulayan yaklaşım dikkat çekmektedir. Baum, Verbeke ve De Steur (2022) tarafından yürütülen deneysel bir çalışmada, kültür et bu şekilde "sorunlara çözüm" olarak konumlandırıldığında, tüketici kabulünün anlamlı biçimde arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle, bireylerin kendi tüketim tercihlerinin çevre üzerindeki etkilerini fark ettikleri durumlarda bu stratejinin daha etkili olduğu belirlenmiştir. Aynı çalışmada, hayvan refahı ve çevresel fayda odaklı mesajların, ürüne yönelik önyargıyı azaltarak tutumları olumlu yönde dönüştürdüğü raporlanmıştır. Tüketici kabulünü etkileyen bir diğer önemli unsur da duyusal özelliklerdir. Tat, doku ve görsellik gibi duyusal özelliklerin geleneksel ete benzemesi, kültür ete yönelik tutumu pozitif yönde etkileyebilmektedir (Bryant & Barnett, 2020). Ancak bu benzerliğin yeterince sağlanamaması, ürünün yapay ya da eksik olarak değerlendirilmesine yol açabilmektedir (Hartmann & Siegrist, 2021).

Etik, çevresel ve hayvan refahı gibi değerlere sahip bireyler arasında kültür ete karşı daha olumlu tutumların geliştiği görülmektedir (Slade, 2018). Ancak bu değer temelli motivasyonların yalnızca belirli gruplarda etkili olduğu, geniş tüketici kitlesinde davranış değişikliğine neden olabilmesi için rasyonel faydaların yanı sıra duygusal ve kültürel bariyerlerin de ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır (Verbeke et al., 2021).

Özellikle bazı toplumlarda öne çıkan helal veya koşer uygunluğu gibi dini hassasiyetler de kültür etin kabulünde önemli bir rol oynamaktadır. Ürünün dini kurallara uygunluğu hakkında henüz netleşmemiş olan yasal ve bilimsel çerçeve, tüketici çekincelerini artırmaktadır (Bryant et al., 2019). Yapılan çapraz kültürel araştırmalar, kültür etin birçok ülkede geleneksel etten ziyade bir teknoloji ürünü olarak algılandığını ve bu algının da ürüne yönelik kabulü sınırladığını ortaya koymaktadır (Stephens et al., 2018).

Çizelge 1: Alternatif Protein Kaynaklarında Tüketici Kabulünü Etkileyen Temel Zorlukların Karşılaştırması

Engeller	**Bitki Bazlı Proteinler**	**Kültür Et**	**Mikrobiyal Proteinler**
Doğallık algısı	Yoğun işlenmiş algısı ve katkı maddeleri nedeniyle doğal bulunmuyor, temiz etiket beklentisi ile çelişiyor (Asioli et al., 2017; FAO, 2021).	Laboratuvarda üretilmiş, teknoloji ürünü olması doğal olmayan algısı uyandırıyor (Siegrist ve Hartmann, 2020).	Mikrop, mantar, laboratuvar gibi çağrışımlar nedeniyle yapaylık algısı var (Asioli et al., 2017; Siegrist ve Hartmann, 2020).
Bilgi eksikliği	Bitki bazlı terimi belirsizlik uyandırabiliyor (Asioli et al., 2017).	Kültür ortamları, büyüme faktörleri gibi konularda bilgi eksikliği bulunuyor. (Wilks ve Phillips, 2017).	‘Tek hücre proteini’ gibi teknik terimlerin anlaşılmaz olması güven sorununa yol açabiliyor (Frewer et al., 2011).
Duyusal kabul	Et benzeri tat, doku ve aroma beklentisinin karşılayamayabiliyor (Joshi & Kumar, 2015; Tso & Forde,	Tat ve doku geleneksel ete benzemediğinde kabul azalıyor (Bryant & Barnett, 2020; Hartmann & Siegrist, 2021).	Et benzeri ürünlerde tat ve doku farklılıkları kabulü zorlaştırabiliyor (Michel et al., 2021; Finnigan et al., 2019).

	2021; Michel et al., 2021).		
Etik ve sürdürülebilirlik yaklaşımları	Çevreci ve etik değerleri benimseyen bireylerde daha fazla kabul ediliyor ancak geniş kitleler için lezzet ve fiyat faktörlerinin önüne geçemiyor (Hoek et al., 2011; Siegrist & Hartmann, 2019).	Etik ve çevreci mesajlar belirli gruplarda etkili; genel kabul için duyusal ve ekonomik faydalar da gerekli (Verbeke et al., 2021; Slade, 2018).	Besin içeriği ve sürdürülebilirlik önemli (Bryant & Barnett, 2020).
Kültürel/Dini hassasiyetler	Genellikle dini hassasiyet oluşturmuyor.	Helal/koşer uygunluğu ile ilgili belirsizlikler çekince yaratıyor (Bryant et al., 2019)	Dini olarak açık bir tanım bulunmuyor.
Etiketleme ve terminoloji	‘Bitki bazlı’, ‘vegan et’ gibi terimlerin tüketici için net olmaması kafa karışıklığı yaratabiliyor (Asioli et al., 2017).	Karşı mesajlama ile olumlu sunum fark yaratabiliyor (Baum, Verbeke ve De Steur, 2022)	‘Fungal protein’, ‘fermente mikrobiyal bileşen’ gibi terimler tiksinti algısı yaratabiliyor. (Bryant & Barnett, 2020; Siddiqui et al., 2022)

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Bu derlemede, bitki bazlı proteinler, kültür et ve mikrobiyal proteinler gibi alternatif protein kaynaklarının endüstriyel ölçekte üretiminde karşılaşılan teknik, düzenleyici ve tüketici algısına dayalı aşılması gereken engelleri kapsamlı biçimde ele alınmıştır. Literatür değerlendirmeleri, yalnızca teknik inovasyonların değil; aynı zamanda düzenleyici altyapının oluşturulması, tüketici bilgilendirmesinin geliştirilmesi ve toplumsal ve kültürel faktörlerin değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Endüstriyel ölçekte sürdürülebilir üretim için, üretim teknolojilerinin iyileştirilmesi ve işlevsel performansın artırılması, alternatif proteinlerin benimsenmesini kolaylaştıracak önemli bir unsurdur. Bitki bazlı proteinler için, yüksek nem ekstrüzyonu, shear-cell teknolojileri ve 3D gıda

baskısı gibi yöntemlerle ürün dokusu ve duyusal kalitenin geliştirilmesi için kullanılabilecek yöntemler olarak öne çıkmaktadır (Sha & Xiong, 2020; Dekkers et al., 2018; Kyriakopoulou et al., 2019). Transglutaminaz ve benzeri teknolojilerle çapraz bağlama prosesleri, tüketici beklentilerini karşılayabilecek doku ve lezzet profillerinin elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Dekkers et al., 2018). Ayrıca, protein izolatları yerine daha az rafine edilmiş protein konsantrelerinin kullanımı hem maliyet hem de enerji verimliliği açısından avantaj sağlamaktadır. Çevre dostu aroma ve lezzet bileşenlerinin geliştirilmesi ise sürdürülebilirliği desteklemektedir (Schutyser et al., 2015; Boye et al., 2010; Tso & Forde, 2021). Biyo-uyumlu iskelet malzemeleri ve mikrokapsülleme teknikleri gibi yapılandırma yöntemleri de ürün kalitesinin iyileşmesine katkı sağlayacaktır (Schutyser et al., 2015; Sha & Xiong, 2020).

Mikrobiyal protein üretiminde ise, gelişmiş havalandırma ve karıştırma sistemleri, mikro kabarcık teknolojileri ve gaz membranı sistemleri gibi inovasyonlar, yüksek viskozite ve oksijen transferi kısıtlamalarının aşılmasına katkı sağlamaktadır (Finnigan et al., 2019; Ritala et al., 2017). Sürdürülebilir ve düşük maliyetli substrat kullanımı, özellikle gıda endüstrisi yan ürünleri ve tarımsal atıkların değerlendirilmesi yoluyla ekonomik ve çevresel fayda sağlamaktadır (Jain et al., 2024; Woern & Grossmann, 2023). Hasat sonrası işlemlerde enzimatik hidroliz, membran filtrasyon gibi enerji tasarruflu yöntemler, ürün kalitesinin korunmasına ve işlem verimliliğinin artırılmasına yardımcı olurken, metabolik yolak modifikasyonları ve yüksek protein verimi sağlayacak suş geliştirme çalışmaları biyoproses verimliliğini desteklemektedir (Ritala et al., 2017; Jain et al., 2024; Balagurunathan et al., 2022).

Kültür etin laboratuvar ölçeğinden ticari üretime geçişinde ise, kararlı ve farklı doku tiplerine dönüşebilen hücre hatlarının geliştirilmesi, hücrelerin büyümesini destekleyen sinyal yolaklarının optimize edilmesi ve yenilebilir, biyouyumlu, mekanik açıdan dayanıklı mikrotaşıyıcı ve iskelet malzemelerinin tasarlanması önem taşımaktadır (Martins et al., 2023; Zhang et al., 2020; Moslemy et al., 2023). Biyoproses mühendisliği, iskelet tasarımı ve maliyet optimizasyonu sistemlerinin bütünleşmiş biçimde ele alınması, kültür etin sürdürülebilir ve ticarileşebilir bir üretim altyapısına kavuşmasını kolaylaştıracaktır (Stephens et al., 2018; Zheng et al., 2024).

Öte yandan, düzenleyici ve gıda güvenliği açısından alternatif proteinlerin güvenli üretimi ve pazarlanması için toksikolojik, mikrobiyolojik ve alerjenik risk analizlerinin standardizasyonu, izlenebilirlik ve etiketleme sistemlerinin şeffaflaştırılması, kültürel ve dini hassasiyetlere uyumlu üretim ve iletişim stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (FAO & WHO, 2023; GFI, 2024).

Tüketici kabulü ise bu dönüşüm sürecinin temel belirleyicilerinden biri olarak ön plandadır. Tüketicilerin bilgi eksi Siegrist & Hartmann klikleri, duyusal beklentileri, doğallık algısı ve yeni gıdalara karşı neofobi, alternatif proteinlerin pazardaki benimsenmesini sınırlamaktadır. Literatür, bilgi sağlama, şeffaf iletişim, sağlık ve çevresel faydaların vurgulanması, alışılmış tarifler ile kabulün arttırılması, duyusal tasarım çalışmaları, toplumun davranış eğilimlerinin yönlendirilmesi, olumlu duygusal tepkilerin oluşturulması açısından önemlidir. Hedef kitle odaklı iletişim stratejileri için bu engellerin aşılmasında etkili olabilecek daha detaylı çalışmalarında yapılması gelecek için dikkate alınmalıdır (Vidigal, 2015; Siddiqui et al., 2022; Hassoun et al., 2022;

Onwezen et al., 2021). Türkiye'de tüketici kabulü ve algısını inceleyen kapsamlı çalışmaların sınırlı olması, bu konunun ele alınmasını daha da önemli kılmaktadır (Özgen ve ark., 2007; Polat, 2011; Azak, 2018).

Alternatif protein kaynaklarının sürdürülebilir gıda sistemlerine entegre edilebilmesi, teknik inovasyonların yanı sıra düzenleyici belirsizliklerin giderilmesi ve tüketici algısının geliştirilmesi tüm faktörlerin bütüncül olarak ele alınmasını gerektirmektedir. Bu dönüşüm, gıda sektörü, bilim dünyası ve politika yapıcıların iş birliğiyle şekillenecek kapsamlı bir süreçtir.

KAYNAKÇA

Asioli, D., Aschemann-Witzel, J., Caputo, V., Vecchio, R., Annunziata, A., Næs, T. & Varela, P. (2017). Making sense of the "clean label" trends: A review of consumer food choice behavior and discussion of industry implications. *Food Research International*, 99, 58–71.

Azak, Ş. & Saner, G. (2018). İzmir ilinde alternatif üretim yöntemleri ile üretilmiş tarım ürünlerine yönelik tüketici davranışlarının analizi: domates ve yumurta örneği. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Balagurunathan, B., Ling, H., Choi, W. & Chang, M. (2022). Potential use of microbial engineering in single-cell protein production. *Current Opinion in Biotechnology*.

Baum, C.M., Verbeke, W. & De Steur, H. (2022). Turning your weakness into my strength: How counter-messaging on conventional meat influences acceptance of cultured meat. *Food Quality and Preference*, 97, 104485.

Ben-Arye, T., et al. (2020). Scaffolding technologies for cultured meat production. *Nature Food*, 1(5), 296–302.

Boye, J., Zare, F. & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414–431.

Bryant, C.J. & Barnett, J.C. (2020). Consumer acceptance of cultured meat: An updated review (2018–2020). *Applied Sciences*, 10(15), 5201.

Chen, Q., Anders, S. & Henry, A. (2013). Measuring consumer resistance to a new food technology: A choice experiment in meat packaging. *Food Quality and Preference*, 28(1), 419–428.

Dekkers, B.L., et al. (2018). Structuring processes for meat analogues. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 25–36.

EFSA (European Food Safety Authority). (2020). Climate change as a driver of emerging risks for food and feed safety, plant, animal health and nutritional quality. *EFSA Journal*, EN-1881.

EFSA NDA Panel (EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens). (2021). Guidance on the preparation and submission of an application for authorisation of a novel food. *EFSA Journal*, 19(3), e06555.

European Court of Justice. (2017). Verband Sozialer Wettbewerb eV v. TofuTown.com GmbH (Case C-422/16).

European Parliament Research Service. (2024). Alternative protein sources for food and feed. Brussels: European Union.

FAO. (2017). The Future of Food and Agriculture – Trends and Challenges. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2020). Thinking about the future of food safety – A foresight report. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO. (2021). The state of food security and nutrition in the world - Transforming food systems for food security, improved nutrition and affordable healthy diets for all. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

FAO/WHO. (2021). Codex Alimentarius: General guidelines on food labelling. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Finnigan, T.J.A., et al. (2019). Mycoprotein: The future of nutritious non-meat protein. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 179–186.

Finnigan, T.J.A., Needham, L., Abbott, C. & Read, C. (2019). Mycoprotein: The future of nutritious nonmeat protein, a symposium review. *Current Developments in Nutrition*, 3(6), nzz021.

Frewer, L.J., et al. (2011). Public perceptions of agri-food applications of genetic modification – A systematic review and meta-analysis. *Trends in Food Science & Technology*, 22(1), 42–52.

Garcia-Ochoa, F. & Gomez, E. (2009). Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: An overview. *Biotechnology Advances*, 27(2), 153–176.

GFI (Good Food Institute). (2023). Cultivated meat market report.

GFI (Good Food Institute). (2023). State of the Industry Report: Cultivated Meat and Seafood.

Good Food Institute. (2025). State of Alternative Proteins: Global Policy Report. Washington, D.C.

Hansen Slade, P. (2018). If you build it, will they eat it? Consumer preferences for plant-based and cultured meat burgers. *Appetite*, 125, 428–437.

Hartmann, C. & Siegrist, M. (2017). Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 61, 11–25.

Hassoun, A., et al. (2022). Consumer acceptance of new food trends resulting from the fourth industrial revolution technologies. *Frontiers in Nutrition*.

Hoek, A.C., et al. (2011). Food-related lifestyle and health attitudes of Dutch vegetarians. *Appetite*, 57(1), 72–79.

IPCC. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Sixth Assessment Report.

Jacobson, M.F. & DePorter, J. (2018). Self-reported adverse reactions associated with mycoprotein (Quorn-brand) containing foods. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology*, 120(6), 626–630.

Jain, A., et al. (2024). Understanding the potential of microbial protein as a more sustainable food source. *Food Science and Nutrition Cases*.

Jain, I., et al. (2024). Emerging protein sources and novel extraction techniques: A systematic review. *International Journal of Food Science and Technology*.

Joshi, V.K. & Kumar, S. (2015). Meat analogues: Plant based alternatives to meat products – A review. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 5(2), 107–119.

Khan, N., et al. (2021). Potential role of technology innovation in transformation of sustainable food systems: A review. *Agriculture (Switzerland)*, 11(10).

Kyriakopoulou, K., et al. (2019). Emerging technologies in meat analogues. *Current Opinion in Food Science*, 29, 98–103.

Martins, B., et al. (2023). Advances and challenges in cell biology for cultured meat.

Michel, F., Hartmann, C. & Siegrist, M. (2021). Consumers' associations, perceptions and acceptance of meat and plant-based meat alternatives. *Food Quality and Preference*, 87, 104063.

Moslemy, N., et al. (2023). Review in edible materials for sustainable cultured meat: Scaffolds and microcarriers production.

Pekdemir, G. & El, S.N. (2024). Sürdürülebilirlik Amaçları için Sürdürülebilir Beslenme Dönüşümü ve Dönüşüm için Yenilikçi Yaklaşımlar. 8. Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 17-19 Mayıs, KTO Karatay Üniversitesi, Konya.

Petroski, W. & Minich, D.M. (2020). Is there such a thing as "anti-nutrients"?. *Nutrients,* 12(10), 2929.

Polat, F. (2011). Yemeklik yağ sektöründe tüketici davranışlarını etkileyen faktörlerin analizi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ritala, A., et al. (2017). Single cell protein—state-of-the-art, industrial landscape and patents 2001–2016. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2009.

Rousseau, S., et al. (2019). Functional consequences of processing induced changes in antinutritional components of pulses. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 114-127.

Samtiya, M., Aluko, R.E. & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Production, Processing and Nutrition,* 2(1), 6.

Schutyser, M.A.I., et al. (2015). Dry fractionation for sustainable production of functional legume protein concentrates. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 327–335.

Sha, L. & Xiong, Y.L. (2020). Plant protein-based alternatives of reconstructed meat. *Trends in Food Science & Technology,* 102, 51–61.

Siegrist, M. & Hartmann, C. (2019). Impact of sustainability perception on consumption of organic meat and meat substitutes. *Appetite*, 132, 196–202.

Siegrist, M. & Hartmann, C. (2020). Consumer acceptance of novel food technologies. *Nature Food*, 1(6), 343–350.

Siddiqui, S.A., et al. (2022). Avoiding food neophobia and increasing consumer acceptance of new food trends. *Sustainability*.

Stephens, N., et al. (2018). Bringing cultured meat to market: Technical, socio-political, and regulatory challenges. *Trends in Food Science & Technology,* 78, 155–166.

Tso, R. & Forde, C.G. (2021). Unintended consequences: Nutritional impact and potential pitfalls of plant-based meat analogues. *Nutrition Reviews*, 79(12), 1350–1366.

United Nations (UN). (2023). The Sustainable Development Goals Report: Special Edition Towards a Rescue Plan for People and Planet.

Uppsala University. (2022). Harnessing the potential of filamentous fungi for sustainable and healthy food production.

U.S. Food and Drug Administration (FDA). (2020). Generally recognized as safe (GRAS).

Vidigal, M., Minim, P.R.M., Simiqueli, A., Souza, P., Balbino, D.F. & Minim, L.A. (2015). Food technology neophobia and consumer attitudes toward foods produced by new and conventional technologies: a case study in Brazil. *LWT - Food Science and Technology*, 832-840.

Wilks, M. & Phillips, C.J. (2017). Attitudes to in vitro meat: A survey of potential consumers in the United States. *PLOS ONE*, 12(2), e0171904.

Wilks, M., et al. (2021). Testing potential psychological predictors of attitudes towards cultured meat. *Appetite*, 167, 105632.

Woern, C. & Grossmann, L. (2023). Microbial gas fermentation technology for sustainable food protein production. *Biotechnology Advances*.

Zhang, G., et al. (2020). Challenges and possibilities for bio-manufacturing cultured meat.

Zheng, Y-Y., et al. (2024). A review: Analysis of technical challenges in cultured meat production and its commercialization.

KARADENİZ BÖLGESİ İÇİN ZİYARET PLANLAMASI: BİR OPTİMİZASYON MODELİ YAKLAŞIMI

Şevval DURUM
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ,
sevvaldurum28@gmail.com - 0009-0004-3768-6701

Dr. Öğretim Üyesi Tuğrul BAYRAKTAR
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ,
tugrulbayraktar@karabuk.edu.tr - 0000-0001-5620-5804

ÖZET

Turizm sektöründe, özellikle geniş ve çeşitli doğal, kültürel kaynaklara sahip bölgelerde, etkin ve verimli gezi planlaması kritik bir öneme sahiptir. Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi gibi coğrafi olarak dağınık ve zengin turistik içerik barındıran alanlarda, sınırlı zaman içinde en fazla ve en kaliteli ziyaretlerin gerçekleştirilmesi karmaşık bir optimizasyon problemidir. Bu nedenle, ziyaretçi memnuniyetini artırmak ve turizm kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamak amacıyla, bölgeye özgü bir turistik ziyaret planlama modeli geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde bulunan çeşitli turistik mekanlar için, belirli süre ve kalite kriterleri gözetilerek bir ziyaret planı oluşturulması amaçlanmıştır. Planlama sürecinde günlük ziyaret süresi sınırı, ziyaret edilen mekanların toplam puanı ve içerik temelli seçim kriterleri dikkate alınmıştır. Çalışmada farklı senaryolar üzerinden yapılan analizler sonucunda, sınırlı süre ile maksimum fayda sağlayan rotalar belirlenmiş ve karar destek sistemlerinin bölgesel turizm planlamasında etkin bir araç olduğu gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Turistik Rota Optimizasyonu, Karadeniz, Zaman Kısıtlı Gezi Planlaması, Tam Sayılı Programlama

1. GİRİŞ

Son yıllarda turizm, ekonomik büyüme, istihdam ve kültürel etkileşim açısından stratejik bir sektör olarak öne çıkmaktadır. İşletmeler ve destinasyonlar bu gelişim sürecinde rekabet avantajı elde edebilmek amacıyla alternatif turizm turları ve güzergahlar belirleme gayreti içindedir. (Akgöz, 2019). Turistik faaliyetler birçok açıdan devamlı bir gelişim için en önemli unsurlardan biridir.

Türkiye, sahip olduğu doğal güzellikler, tarihi miras ve gelişmiş altyapısıyla dünya turizminde önemli bir konuma sahiptir. 2024 yılında Türkiye, turizmde tarihi bir başarıya imza atarak tüm zamanların en yüksek gelirini elde etmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2024 yılında turizm geliri bir önceki yıla göre %8,3 artarak 61 milyar 103 milyon 419 bin dolara ulaşmıştır. Aynı dönemde, ülkeye gelen ziyaretçi sayısı %9 artışla 62 milyon 232 bin 447 kişiye yükselmiştir.

Bu büyüme eğilimi, turistik faaliyetlerin daha sistematik ve verimli planlanması gerekliliğini de beraberinde getirmektedir. Özellikle ziyaretçilerin sınırlı zaman ve kaynaklarla en fazla değeri elde edebilmesi için, planlamanın sadece sezgilere değil, hesaplanabilir yöntemlere dayanması önemlidir. Günlük yaşamda sıkça karşılaştığımız bu tür çok kriterli karar verme süreçleri, matematiksel modeller aracılığıyla daha etkin ve nesnel hale getirilebilmektedir. Gezi planlaması da bu yaklaşımla ele alındığında, zaman, rota ve içerik seçimi gibi parametrelerin birlikte optimize edilmesine olanak tanımaktadır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde yer alan çeşitli turistik mekânlar için, bir ziyaret planı oluşturulması amaçlanmaktadır. Ziyaret süresi, ulaşım zamanları ve turistik puanlar gibi çeşitli kısıtlar altında geliştirilen optimizasyon modeliyle, farklı senaryolar dahilinde en uygun rota alternatifleri analiz edilmiştir. Böylece hem bireysel hem de bölgesel ölçekte karar destek sağlayacak matematiksel bir yaklaşım ortaya konmuştur.

Literatür Araştırması:

Mevcut literatürde, genel turistik rota planlamaları üzerine çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte, belirli bir bölgeye odaklanan ve çok günlük, zaman kısıtlı, içerik kalitesine dayalı gezi planlamalarını ele alan çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır. Türkiye özelinde, Karadeniz Bölgesi gibi doğal ve kültürel açıdan zengin bölgeler için rota optimizasyonu yaklaşımıyla yapılmış akademik çalışmalara rastlamak güçtür. Literatürde rota planlaması daha çok lojistik, dağıtım ağı, sağlık hizmetleri ya da okul servis güzergahları gibi alanlara uygulanmakta; turizm sektörüne yönelik örnekler ise çoğunlukla tek günlük ya da tam kapsamlı olmayan planlamaları içermektedir (Bilek, 2025; Duman & Yıldız, 2024).

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde turizm potansiyelinin geliştirilmesine yönelik stratejik planlama çalışmaları yapılmıştır. Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın desteklediği bu tür planlar, bölgesel kalkınma ajansları tarafından hazırlanmış olsa da matematiksel optimizasyon yöntemlerinden ziyade stratejik değerlendirmelere dayalıdır (Kalkınma Kütüphanesi, 2021).

Bölgesel ölçekte yapılan diğer çalışmalarda ise genellikle çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri tercih edilmiştir. Örneğin, Kırgızistan'da yapılan bir çalışmada MULTIMOORA yöntemi kullanılarak, tur güzergâhları değerlendirilmiş ve Çüy/Bişkek, Issık-Göl ve Celal-Abad destinasyonları en uygun bölgeler olarak belirlenmiştir (Abdullaeva & Sharshenova, 2021). Bu

çalışma, yöntemi açısından özgün olsa da Türkiye özelinde uygulanan benzer bir analiz çalışmasına rastlanmamaktadır.

İstanbul, Ankara ve Antalya gibi büyük şehirlerde yapılan bazı çalışmalar, turistik mekanlara önerilen günlük rotaları belirlemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) veya optimizasyon temelli algoritmalar kullanmıştır (Yılmaz & Gür, 2023). Ancak bu çalışmaların çoğu tek şehirle sınırlı kalmakta ve çok günlük, esnek içerik kısıtlarını içermemektedir. Bu da Karadeniz özelinde yapılan bu çalışmanın farklılaşan yönlerinden biridir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, turistik rota planlaması bir optimizasyon problemi olarak ele alınmış ve matematiksel modelleme yaklaşımı kullanılmıştır. Problem, sınırlı süre içerisinde maksimum sayıda veya en yüksek nitelikteki turistik mekânın ziyaret edilmesini sağlayacak şekilde yapılandırılmıştır. Modelin amacı, toplam ziyaret süresini, ziyaret edilen yerlerin toplam puanını veya doğa temalı içeriklerin sayısını maksimize etmek üzerine kurulmuştur.

Gezi planı, Karadeniz Bölgesi'ndeki 15 farklı turistik mekân üzerinden kurgulanmıştır. Her bir mekân arasındaki ulaşım süresi (dakika cinsinden) bir süre matrisi ile ifade edilmiş; ayrıca TripAdvisor platformundan elde edilen kullanıcı puanları da modele dahil edilmiştir. Ziyaret edilen her mekânda en az 30 dakika geçirilmesi gerektiği, günlük maksimum gezi süresinin ise senaryolara bağlı olarak 8 ila 10 saat arasında değiştiği varsayılmıştır. Mekanlar ve puanları Çizelge 1 'de verilmiştir.

Çizelge 1. Mekanlar ve TripAdvisor Puanları

Gezi Adresi	Puan (0–5)
Gazi Müzesi	4.6
Amisos Tepesi	4.2
Vezirsuyu Tabiat Parkı	4.4
Bandırma Vapuru Müzesi	4.4
Kuş Cenneti	4.3
Etnografya Müzesi	4.3
Yason Burnu	4.8
Perşembe Yaylası	4.5
Boztepe	4.4
Sümela Manastırı	4.2
Ayasofya	4.5
Sürmene	4.0

Uzungöl	4.3
Lustra Karester Yaylası	4.2
Şimşir Ormanları	4.1

Modelde kullanılan mekanlar arası süre matrisi Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Süre Matrisi

GEZİ NOKTASI	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R
A	0	14	104	10	57	131	127	183	131	330	276	310	364	383	431
B	14	0	109	17	48	135	130	191	135	328	276	308	359	378	422
C	104	109	0	119	150	228	224	212	228	417	365	396	447	467	513
D	10	17	119	0	52	127	122	184	127	319	268	300	351	370	413
E	57	48	150	52	0	180	176	232	180	372	320	352	404	423	466
F	131	135	228	127	180	0	36	180	15	212	158	193	246	265	309
G	127	130	224	122	176	36	0	110	33	235	183	217	270	288	333
H	183	191	212	184	232	180	110	0	174	309	257	310	340	336	403
J	131	135	228	127	180	15	33	174	0	336	163	197	250	270	315
K	330	328	417	319	372	212	235	309	336	0	55	76	132	151	197
L	276	276	365	268	320	158	183	257	163	55	0	36	90	109	156
M	310	308	396	300	352	193	217	310	197	76	36	0	54	72	120
N	364	359	447	351	404	246	270	340	250	132	90	54	0	22	160
P	383	378	467	370	423	265	288	336	270	151	109	72	22	0	173
R	431	422	513	413	466	309	333	403	315	197	156	120	160	173	0

Modelde kullanılan temel karar değişkenleri, bir mekâna gidilip gidilmediğini ve gün gün hangi güzergâhların seçildiğini belirlemektedir. Zaman ve içerik bazlı çeşitli kısıtlar ile senaryo bazlı hedefler doğrultusunda, rota planlaması çözülmüştür. Geliştirilen matematiksel model Python programlama dili ile kodlanmış, çözümleme sürecinde Gurobi optimizasyon çözücüsü kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında üç farklı senaryo değerlendirilmiştir:

- Senaryo 1: Temel model (günlük süre 8 saat).
- Senaryo 2: Tüm mekânların gezildiği, günlük 10 saatlik süre ile plan.
- Senaryo 3: Doğa temalı mekânlardan en az 4'ünün ziyaret edildiği plan.

Uygulanan yöntemle birlikte, farklı senaryolar için en uygun ziyaret rotaları belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

2.1.Küme ve Parametreler:

- M : Tüm turistik mekânlar kümesi (i, j ∈ M)
- G : Gezi günleri kümesi (g ∈ G)
- t_{ij} : Mekan i ile j arasındaki yolculuk süresi (dakika)
- z_i : Mekan i'nin TripAdvisor puanı
- s : Günlük toplam gezilebilir süre (dakika) (senaryoya göre 480 veya 600)
- d_i : Mekan i'de geçirilmesi gereken minimum süre (genelde 120 dk)
- D ⊆ M : Doğa temalı mekanlar alt kümesi
- N_d : Gezilecek minimum doğa temalı mekân sayısı (Senaryo 3 için)

2.2.Karar Değişkenleri:

- x_ig = 1, eğer mekân i gün g'de ziyaret edilirse; 0, aksi takdirde
- $y_{ij}g$ = 1, eğer gün g'de mekân i'den j'ye geçiş varsa; 0, aksi takdirde

Amaç Fonksiyonu:

$$Maximize\ Z\ =\ \sum(_i \in M)\ \sum(g \in G)\ x_ig$$

Kısıtlar:

1. Her mekân en fazla bir kez ziyaret edilir:

$$\sum(g \in G)\ x_ig\ \leq\ 1 \qquad \forall\ i\ \in\ M$$

2. Günlük toplam süre kısıtı:

$$\sum(i \in M)\, d_i \cdot x_i g \; + \; \sum(i \in M) \sum(j \in M), t_{ij} \cdot y_{ij} g \; \leq \; s \qquad \forall\, g \; \in \; G$$

3. Ziyaret edilen yere mutlaka bir yerden gelinmiş olmalı (giriş):

$$\sum(j \in M)\, y_{ji} g \; = \; x_i g \qquad \forall\, i \; \in \; M, \forall\, g \; \in \; G$$

4. Ziyaret edilen yerden mutlaka başka bir yere gidilmiş olmalı (çıkış):

$$\sum(j \in M)\, y_{ij} g \; = \; x_i g \qquad \forall\, i \; \in \; M, \forall\, g \; \in \; G$$

5. Toplam TripAdvisor puanı eşiği geçmeli (Senaryo 2):

$$\sum(i \in M) \sum(g \in G)\, z_i \cdot x_i g \; \geq \; 50$$

6. En az N_d doğa temalı mekân gezilsin (Senaryo 3):

$$\sum(i \in D) \sum(g \in G)\, x_i g \; \geq \; N_d$$

7. Her mekânda en az 30 dakika kalınmalı:

$$x_i g \; = \; 1 \; \rightarrow \; d_i \; \geq \; 30$$

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, farklı senaryolar altında tur planlama problemi çözülerek rota optimizasyonu yapılmıştır. Üç farklı senaryoda rota, süre ve puan verileri değerlendirilmiş; amaç, mevcut kısıtlar dahilinde maksimum puanı elde etmek olmuştur.

Senaryo 1'de, herhangi bir zorunlu ziyaret kısıtı olmadan 4 günlük ve günlük 480 dakikalık bir zaman limitiyle en uygun rota belirlenmiştir. Bu senaryoda elde edilen toplam puan 60.60 olup, zaman kısıtı dahilinde birçok yüksek puanlı nokta ziyaret edilmiştir. Bu sonuç, kısıtların esnek olduğu durumda puan maksimizasyonunun daha kolay elde edilebileceğini göstermektedir.

Senaryo 1 (4 gün, 480 dk/gün, ziyaret zorunluluğu yok)

Toplam puan: 60.60

- **Gün 1 rotası:**
  B → D → C → E
  Toplam süre: 454 dk
  Günlük puan: 17.30
- **Gün 2 rotası:**
  H → F → J → G
  Toplam süre: 458 dk
  Günlük puan: 18.00

- **Gün 3 rotası:**
  M → L → R
  Toplam süre: 402 dk
  Günlük puan: 12.60
- **Gün 4 rotası:**
  K → N → P
  Toplam süre: 395 dk
  Günlük puan: 12.70

Senaryo 2'de, süre limiti günlük 600 dakikaya çıkarılmış ancak tüm noktaların en az bir kez ziyaret edilmesi zorunluluğu getirilmiştir. Bu kısıt, rota seçimini zorlaştırmış, modelin seçim özgürlüğünü azaltmıştır. Bu nedenle toplam puan 57.80'e düşmüştür. Ancak tüm mekanların kapsanması bakımından model tam kapsayıcı bir çözüm üretmiştir. Bu durum, erişim ve kapsayıcılık öncelikli senaryolar için önemlidir.

Senaryo 2 (4 gün, 600 dk/gün, tüm mekanlara gitme zorunlu)

Toplam puan: 57.80

- **Gün 1 rotası:**
  N → M → P
  Toplam süre: 238 dk
  Günlük puan: 12.50
- **Gün 2 rotası:**
  C → A → D → H
  Toplam süre: 600 dk
  Günlük puan: 13.30
- **Gün 3 rotası:**
  B → E → G → F → J
  Toplam süre: 557 dk
  Günlük puan: 22.00
- **Gün 4 rotası:**
  L → K → R
  Toplam süre: 498 dk
  Günlük puan: 12.80

Senaryo 3 ise en kısa sürede en anlamlı ziyaretleri hedeflemiş, 3 gün, günlük 480 dk süre sınırı ve en az 6 doğa temalı mekan ziyaret edilmesi kısıtıyla çözülmüştür. Toplamda 56.50 puan elde edilmiş, ayrıca 6 sınırını aşarak 9 doğa temalı mekan ziyaret edilmiştir. Bu senaryo, doğa odaklı tur planlaması açısından etkili bir rota sunduğunu göstermiştir.

Senaryo 3 (3 gün, 480 dk/gün, en az 6 doğa temalı mekan)

Toplam puan: 56.50
Doğa temalı mekan sayısı: 9

- **Gün 1 rotası:**
  B → A → C → D → E
  Toplam süre: 457 dk
  Günlük puan: 17.30
- **Gün 2 rotası:**
  M → K → L → P → N
  Toplam süre: 466 dk
  Günlük puan: 21.20
- **Gün 3 rotası:**
  H → F → J → G
  Toplam süre: 458 dk
  Günlük puan: 18.00

Çizelge 3'te modelleme sonucunda elde edilen senaryoların karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir.

Çizelge 3. Karşılaştırmalı Sonuçlar

Senaryo	Toplam Gün	Günlük Süre	Ziyaret Kısıtı	Toplam Puan	Doğa Temalı Mekan Sayısı
1	4	480 dk	Yok	60.60	9
2	4	600 dk	Tüm mekanlar	57.80	7
3	3	480 dk	En az 6 doğa temalı mekan	56.50	9

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sonuçlar, süre esnekliği sağlansa bile ziyaret zorunluluklarının çözüm alanını daralttığını ve toplam puanı olumsuz etkileyebileceğini göstermektedir. Diğer yandan, doğa temalı mekanlara odaklanan Senaryo 3, kısıtlı zaman dilimi içinde anlamlı bir rota oluşturabilmiş ve yüksek puanlı noktaları başarıyla seçmiştir.

Bu bağlamda, rota optimizasyonunda kısıtların doğrudan çözüm kalitesini etkilediği ve planlama hedeflerine uygun modelleme ile esnek, kapsamlı ya da tematik rotalar üretilebildiği görülmektedir.

KAYNAKÇA

1. Abdullaeva, Z., & Sharshenova, D. (2021). *Analysis of tourism routes in Kyrgyzstan using MULTIMOORA method*. Central Asian Journal of Tourism, 5(2), 101–112.
2. Bilek, T. (2025). *Turizm talebinin zaman serisi analizi: Türkiye örneği*. Sustainability, 17(4), 1396.
3. Duman, S., & Yıldız, A. (2024). *Günlük turistik rotaların belirlenmesinde coğrafi bilgi sistemleri: Ankara örneği*. Environment, Development and Sustainability.
4. Kalkınma Kütüphanesi. (2021). *Doğu Karadeniz Turizm Master Planı*. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayını.
5. Yılmaz, E., & Gür, H. (2023). *İstanbul kültürel turizminde rota optimizasyonu ve mekânsal analiz*. European Journal of Tourism Research, 31(3), 88–104.
6. Akgöz, M. (2019). *Turizmde yeni güzergâh stratejileri: Alternatif destinasyon planlaması üzerine bir inceleme*. Turizm ve Otelcilik Araştırmaları Dergisi, 8(2), 47–61.

LOJİSTİK PERFORMANS ENDEKSİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ: DESTEK VEKTÖR REGRESYONU KULLANIMI

Şevval DURUM
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ,
sevvaldurum28@gmail.com - 0009-0004-3768-6701

Dr. Öğretim Üyesi Tuğrul BAYRAKTAR
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ,
tugrulbayraktar@karabuk.edu.tr - 0000-0001-5620-5804

ÖZET

Bu çalışma, ülkelerin lojistik performans düzeylerini ölçen Küresel Lojistik Performans Endeksi (LPI) değerlerinin tahmini için makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım sunmaktadır. Dünya Bankası tarafından yayımlanan ve 2012–2023 yılları arasını kapsayan LPI veri seti kullanılarak, endeksin alt boyutları (gümrük işlemleri etkinliği, altyapı kalitesi, uluslararası sevkiyat kolaylığı, lojistik hizmet yeterliliği, izleme-takip kapasitesi ve zamanlı teslimat) temelinde genel LPI puanı tahmin edilmiştir. Tahmin modeli olarak Destek Vektör Regresyonu (SVR) tercih edilmiştir. Modelin kurulması sürecinde veri ön işleme, özellik seçimi ve model parametre ayarlamaları gerçekleştirilmiş; model başarımı çeşitli hata ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Bu bağlamda, çalışma lojistik performansın öngörülmesinde makine öğrenmesi yöntemlerinin uygulanabilirliğini ortaya koymakta ve politika yapıcılar için öngörüsel bir karar destek sistemi sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Lojistik Performans Endeksi, Destek Vektör Regresyonu, Lojistik Analizi, Tahminleme

1. GİRİŞ

Küreselleşme olgusunun etkisiyle birlikte ülkeler arası ticaret hacmi hızla artmakta ve bu durum, lojistik faaliyetlerin verimli, bütünleşmiş ve sürdürülebilir şekilde yürütülmesini her zamankinden daha önemli hale getirmektedir. Özellikle tedarik zinciri yönetimi, üretim süreçleri, sevkiyat ve gümrük işlemleri gibi lojistiğin temel bileşenleri, bir ülkenin ekonomik kalkınması ve dış ticaretteki rekabet gücü açısından stratejik rol oynamaktadır. Bu kapsamda, ülkelerin lojistik altyapılarını ve performanslarını nesnel ölçütlerle değerlendiren göstergelere duyulan ihtiyaç giderek artmıştır. Dünya Bankası tarafından geliştirilen Küresel Lojistik Performans Endeksi (Logistics Performance Index – LPI), bu ihtiyaca yanıt veren önemli bir araç olup, ülkelerin lojistik etkinliklerini karşılaştırmalı olarak analiz etme imkânı sunmaktadır.

LPI, altı temel boyutta ülkelerin performansını ölçmektedir: gümrük işlemlerinin etkinliği, altyapı kalitesi, uluslararası sevkiyat kolaylığı, lojistik hizmet kalitesi, sevkiyatların izlenebilirliği ve zamanında teslimat. Bu çok boyutlu yapı, endeksin yalnızca lojistik sistemleri değil, aynı zamanda ekonomik, yönetsel ve teknolojik kapasiteyi de yansıtmasına olanak tanımaktadır. Dolayısıyla, LPI yalnızca akademik çalışmalarda değil, kamu politikalarının şekillendirilmesinde, yatırım kararlarında ve uluslararası rekabetçilik analizlerinde de sıkça başvurulan bir göstergedir.

Ancak, LPI verilerinin iki yılda bir yayımlanması ve bazı ülkeler için belirli yıllarda eksik veri bulunması gibi nedenlerle, endeksin sürekliliğini sağlamak ve geleceğe yönelik kestirimlerde bulunmak önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu noktada, makine öğrenmesi yöntemleri karar destek sistemleri içerisinde önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle karmaşık ve çok boyutlu veri yapılarını işleyebilme, doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilme ve yüksek tahmin gücü sunma yetenekleri sayesinde, makine öğrenmesi algoritmaları lojistik göstergelerin öngörülmesinde etkin biçimde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, LPI'nin genel puanının, alt bileşenler yardımıyla tahmin edilmesi amacıyla destek vektör regresyonu (Support Vector Regression – SVR) algoritması kullanılmıştır. SVR, sınırlı sayıda veri ile çalışabilmesi, aşırı öğrenmeye karşı dayanıklı olması ve yüksek genelleme başarımı sayesinde tahminleme problemlerinde sıkça tercih edilen güçlü bir makine öğrenmesi yöntemidir. Bu bağlamda, çalışma hem teorik düzeyde SVR yönteminin LPI tahmini üzerindeki başarısını ortaya koymayı hem de uygulamada karar vericilere fayda sağlayabilecek öngörüler üretmeyi hedeflemektedir. Ayrıca, farklı veri bölme oranlarıyla modelin başarımı test edilerek yöntemin tutarlılığı ve güvenilirliği de değerlendirilmiştir.

Literatür Çalışması:

Lojistik Performans Endeksi (LPI), Dünya Bankası tarafından iki yılda bir yayımlanmakta olup, ülkelerin lojistik sistemlerinin etkinliğini değerlendirmek için önemli bir gösterge olarak kullanılmaktadır. LPI; gümrük işlemleri, altyapı kalitesi, uluslararası sevkiyat kolaylığı, lojistik

hizmet yeterliliği, izleme-takip kapasitesi ve zamanında teslimat olmak üzere altı bileşenden oluşmaktadır. Son yıllarda LPI, yalnızca lojistik faaliyetlerin değil, aynı zamanda ekonomik büyümenin, dış ticaretin ve sürdürülebilir kalkınmanın da bir göstergesi olarak araştırmalara konu olmaktadır. Türkiye özelinde yapılan çalışmalarda, LPI verilerinin ekonomik değişkenlerle ilişkisi sıkça incelenmiştir. Manavgat ve Demirci (2021), sıralı lojistik regresyon modeliyle LPI üzerinde etkili faktörleri belirlemiş ve dış ticaret hacmi ile milli gelir gibi değişkenlerin önemli rol oynadığını göstermiştir. Pelit (2023), Türkiye'nin LPI performansını betimsel istatistiklerle analiz etmiş ve özellikle altyapı ve gümrük süreçlerinde gelişim ihtiyacına dikkat çekmiştir. Yaprak (2024) ise Türkiye'nin 2007–2023 yıllarındaki LPI değişimlerini incelemiş, özellikle hizmet kalitesi ve izleme-takip kapasitesinde sınırlı ilerleme kaydedildiğini vurgulamıştır. Ayrıca Çakmak ve Özerhan (2023), Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik süreç performansı üzerindeki etkisini yapısal eşitlik modeliyle incelemiş ve dijitalleşmenin lojistik verimliliği artırdığını belirtmiştir.

Makine öğrenmesi tabanlı analizler ise LPI tahminlerinde giderek daha yaygın hale gelmektedir. Zhang ve Liu (2020), Çin'e ait bölgesel LPI verilerini kullanarak destek vektör regresyonu (SVR) modeliyle tahmin gerçekleştirmiş ve bu yöntemin geleneksel doğrusal modellere kıyasla daha yüksek doğruluk sağladığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde Park ve Lee (2019), Doğu Asya ülkeleri için LPI alt boyutlarına yönelik SVR ve karar ağaçları ile tahminler yapmış, makine öğrenmesinin öngörü kabiliyetinin güçlü olduğunu göstermiştir. SVR yönteminin kuramsal temelleri ise Smola ve Schölkopf (2004) tarafından detaylı şekilde açıklanmıştır. Türkiye bağlamında, Kılıçkap (2023), lojistik paket tiplerinin sınıflandırılması ve tahmini için destek vektör makineleri (SVM), XGBoost ve rastgele orman (Random Forest) gibi algoritmaları karşılaştırmış, özellikle SVM algoritmasının lojistik süreçlerde pratik olarak uygulanabilir olduğunu vurgulamıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada temel amaç, LPI genel puanını, alt bileşenlerinden (gümrük etkinliği, altyapı kalitesi, uluslararası sevkiyat kolaylığı, lojistik hizmet kalitesi, izleme-takip yeteneği ve zamanlı teslimat) yararlanarak tahmin etmektir. Bu amaç doğrultusunda destek vektör regresyonu yöntemi kullanılmıştır.

SVR, veri noktaları arasında doğrusal ya da doğrusal olmayan bir ilişki kurarak tahmin yapmayı amaçlayan güçlü bir regresyon algoritmasıdır. Model oluşturma sürecinde veri ön işleme, normalizasyon, özellik seçimi ve hiper parametre ayarlamaları gerçekleştirilmiştir. RBF (Radial Basis Function) çekirdek fonksiyonu kullanılarak modelin genel doğruluğu artırılmıştır.
Model başarı ölçütleri olarak R^2 skoru, Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Karekök Ortalama Kare Hata (RMSE) kullanılmıştır.

Veri seti, Dünya Bankası tarafından 2007–2023 yılları arasında yayımlanan LPI verilerinden oluşmaktadır. Her yıl için 160'tan fazla ülkeye ait LPI genel skoru ve alt boyut puanları toplanarak

analiz için uygun hâle getirilmiştir. Veri setinde eksik ya da uyumsuz gözlemler temizlenmiş ve tüm veriler 0–1 arasında normalize edilmiştir. Modelin eğitimi ve test edilmesi için farklı oranlarda bölmeler yapılmıştır: %80 eğitim / %20 test, %75 eğitim / %25 test ve %70 eğitim / %30 test olarak üç farklı senaryo oluşturulmuştur.

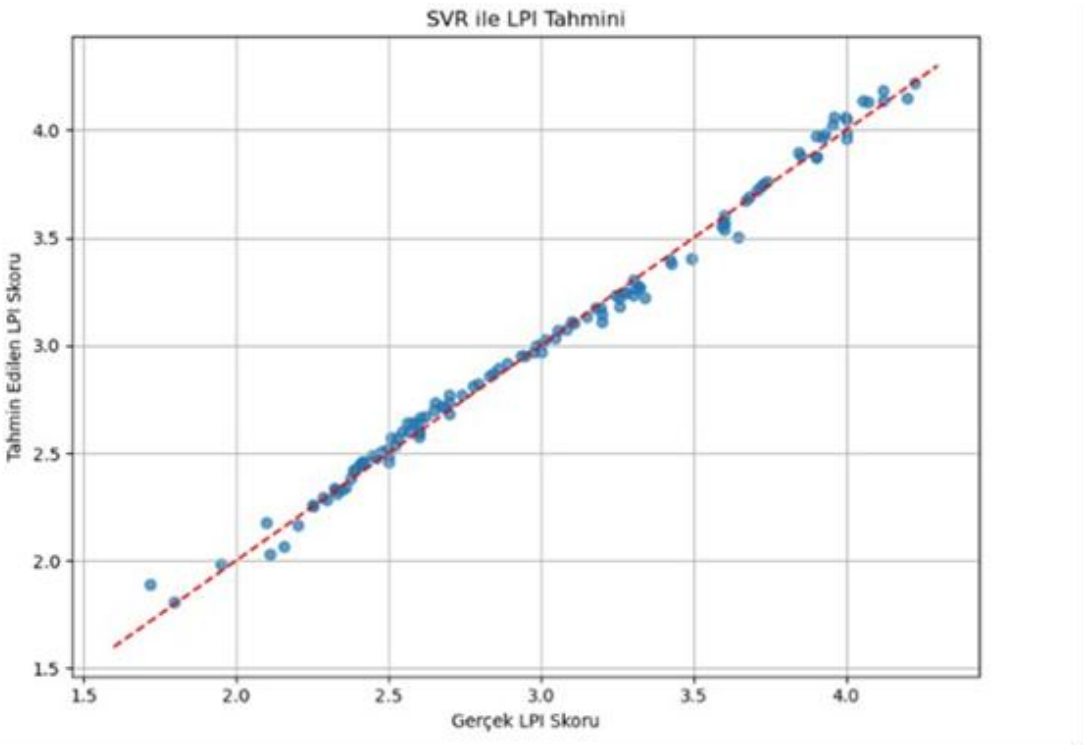
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Modelin çeşitli bölme oranlarında gösterdiği performans Çizelge 1'de sunulmuştur:

Çizelge 1. Performans Göstergeleri

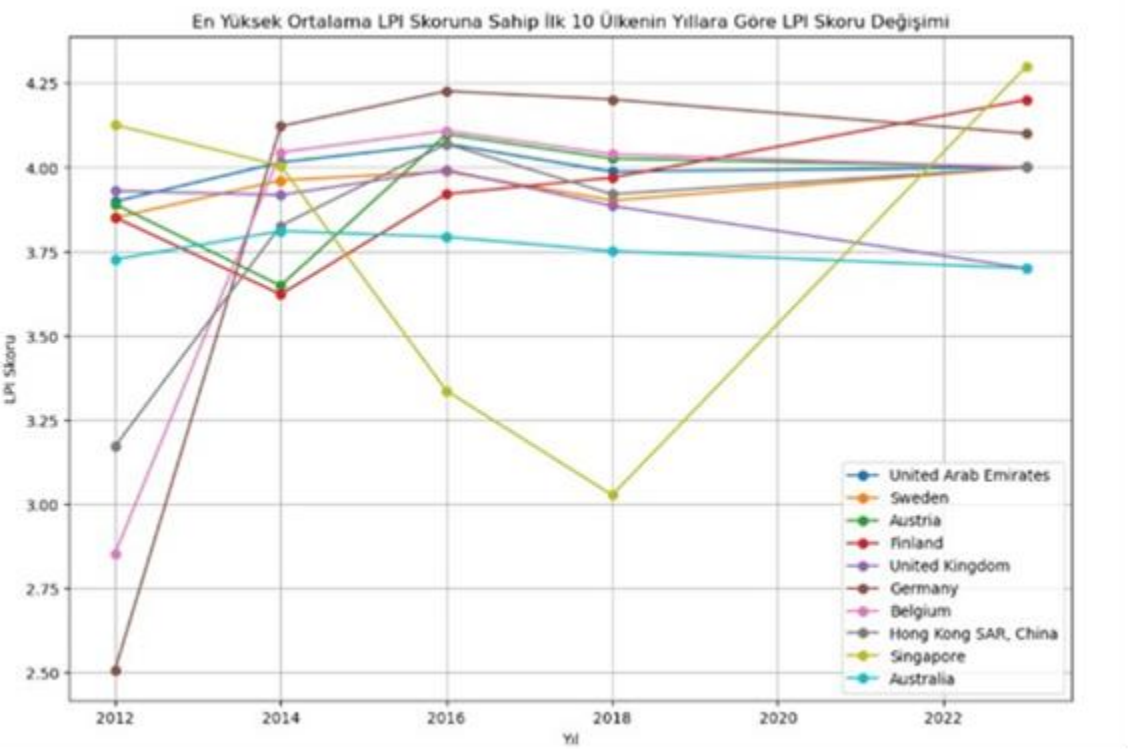
Eğitim/Test Oranı	Eğitim Süresi	Tahmin Süresi	R^2 Skoru	MAE	RMSE
%80/%20	0.0020 sn	0.0010 sn	0.994	0.037	0.048
%75/%25	0.0040 sn	0.0024 sn	0.991	0.041	0.058
%70/%30	0.0034 sn	0.0021 sn	0.991	0.040	0.055

SVR modeli, yüksek R^2 değerleri ve düşük hata oranlarıyla oldukça başarılı sonuçlar vermiştir. Tüm senaryolarda modelin genel LPI değerini oldukça yüksek doğrulukla tahmin ettiği gözlemlenmiştir.



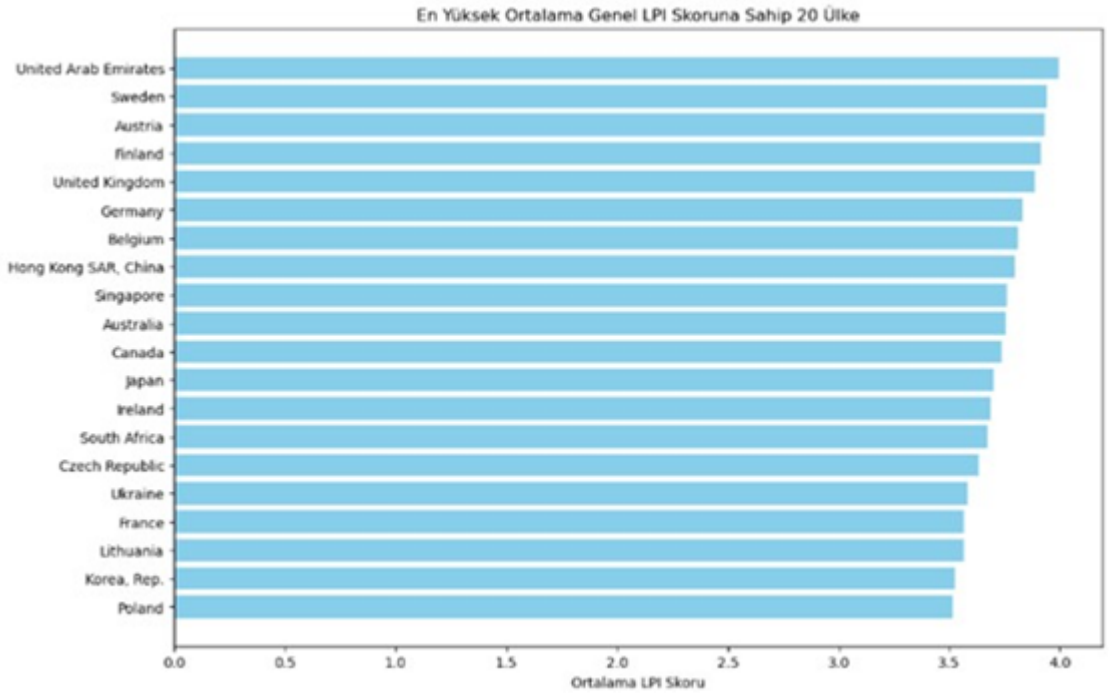
Görsel 1. Model Sonucu Elde Edilen LPI Tahmin ve Gerçek LPI Skoru

Görsel 1'de, tahmin edilen LPI değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişkiyi görülmektedir. Noktaların çapraz doğruya yakın bir şekilde hizalanmış olması, modelin tahmin performansının güçlü olduğunu göstermektedir. Gözlemler arası farklar oldukça düşüktür ve bu da SVR modelinin doğruluğunu destekler niteliktedir.



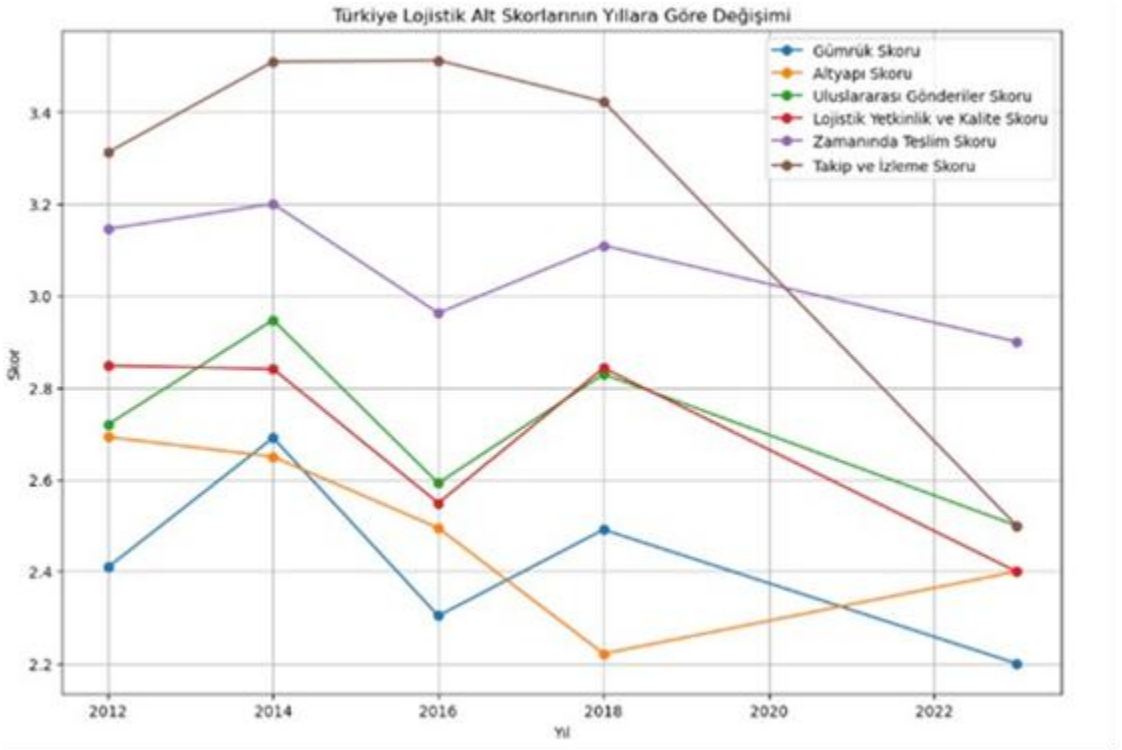
Görsel 2. En Yüksek Ortalama LPI Skoruna Sahip İlk 10 Ülkenin Yıllara Göre LPI Skoru

Görsel 2'de, 2012–2023 yılları arasında en yüksek ortalama LPI skoruna sahip ilk 10 ülkenin yıllara göre LPI skorlarındaki değişim gösterilmektedir.
Grafik, ülkelerin zaman içerisindeki performans istikrarını ve trendlerini ortaya koymaktadır.
Örneğin, Birleşik Arap Emirlikleri ve İsveç gibi ülkeler zamanla LPI skorlarını artırarak üst sıralarda yer almaya devam etmiş, Singapur gibi bazı ülkelerde ise dalgalı bir seyir gözlemlenmiştir.
Bu değişim, ülkelerin lojistik politikalarındaki gelişmelerin endekse yansımasını göstermesi açısından önemlidir.



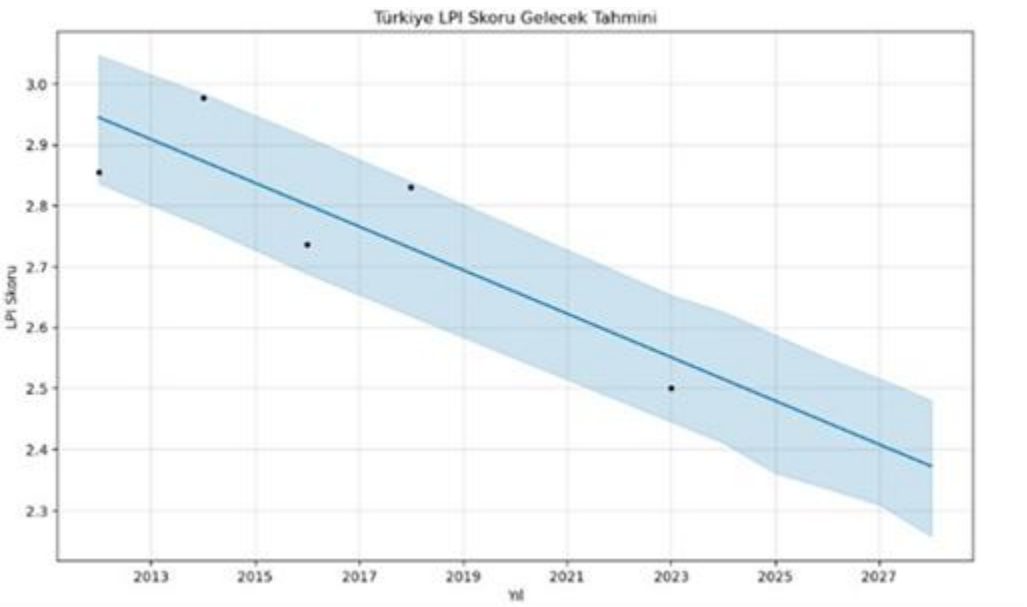
Görsel 3. En Yüksek Ortalama Genel LPI Skoruna Sahip 20 Ülke

Görsel 3'te, 2012–2023 yılları arasında en yüksek ortalama genel LPI skoruna sahip ilk 20 ülkeyi sıralamaktadır. Birleşik Arap Emirlikleri, İsveç ve Avusturya, genel ortalamada en yüksek LPI skorlarına sahip ülkeler olarak öne çıkmaktadır.Bu ülkeler, lojistik altyapı, gümrük etkinliği, hizmet yeterliliği ve zamanında teslimat gibi alanlarda yüksek performans sergilemişlerdir.Grafik, genel sıralamada önde olan ülkelerin çoğunlukla Avrupa ve Asya merkezli olduğunu da gözler önüne sermektedir.



Görsel 4. Türkiye Lojistik Alt Skorlarının Yıllara Göre Değişimi

Grafik, Türkiye'nin lojistik alt skorlarının yıllar içinde genel olarak düşüş yaşadığını göstermektedir. 2012-2023 yılları arasındaki veriler incelendiğinde altyapı skorunda düşüş yaşanılmasının ardından yükselişe geçtiği, takip ve izleme skorunun ise büyük bir düşüş yaşadığı görülmektedir. Tahminler, genel olarak yaşanan bu düşüşlerin devam edeceğini göstermiştir.



Görsel 5. Türkiye LPI Skoru Gelecek Tahmini

Görsel 5'te, Türkiye'nin geçmiş LPI skorlarına dayanarak SVR modeliyle oluşturulan gelecek tahmini yer almaktadır. Siyah noktalar 2012–2023 dönemindeki gerçek verileri, mavi çizgi ise tahmin edilen trendi göstermektedir. Mavi gölgeli alan, tahminin güven aralığını ifade etmektedir. Grafikten görüldüğü üzere, Türkiye'nin LPI skoru yıllar içinde azalan bir eğilim göstermektedir. SVR modeli bu eğilimin 2027 yılına kadar devam edeceğini ve LPI skorunun 2.4'ün altına gerileyebileceğini öngörmektedir. Bu durum, lojistik altyapı ve hizmet kalitesine yönelik iyileştirme gereksinimine işaret etmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, lojistik performansın öngörülmesi açısından makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım sunmaktadır. Özellikle SVR algoritması ile yapılan tahminler, yüksek doğruluk seviyesi ve düşük hata oranları sayesinde, karar vericilere ve politika yapıcılara etkili bir karar destek aracı sunmaktadır.

Modelin başarısı, veri setinin kalitesi ve özellik seçiminin doğruluğuyla doğrudan ilişkilidir. Gelecek çalışmalarda, farklı makine öğrenmesi algoritmaları (örneğin, XGBoost, Random Forest) ile karşılaştırmalı analizler yapılabilir. Ayrıca, zaman serisi modelleriyle dinamik tahminler geliştirilerek tahmin gücü daha da artırılabilir.

Bu bağlamda, çalışma hem akademik anlamda katkı sağlamakta hem de lojistik sektöründe veri temelli karar verme süreçlerini desteklemektedir.

KAYNAKÇA

1. Arvis, J. F., Mustra, M. A., Ojala, L., Shepherd, B., & Saslavsky, D. (2007). *Connecting to compete: Trade logistics in the global economy—The logistics performance index and its indicators*. The World Bank.

2. Arvis, J. F., Ojala, L., Wiederer, C., Shepherd, B., Raj, A., Dairabayeva, K., & Kiiski, T. (2010). *Connecting to compete 2010: Trade logistics in the global economy—The logistics performance index and its indicators*. The World Bank.

3. Çakmak, H., & Özerhan, S. (2023). Endüstri 4.0 uygulamalarının lojistik üretim esnekliği ve çevikliği üzerindeki etkisi. *Uluslararası Lojistik Yönetimi Dergisi*, 5(1), 35–52.

4. Çoşkun, E. (2023). Küresel rekabetçilik ve lojistik performans ilişkisi: Bayesci çok değişkenli regresyon analizi. *İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(2), 115–130.

5. Kılıçkap, E. (2023). Lojistik paket türlerinin sınıflandırılmasında makine öğrenmesi algoritmalarının karşılaştırılması. *Yapay Zekâ ve Veri Bilimi Dergisi*, 3(1), 41–58.

6. Kevser, M., & Doğan, H. (2021). Lojistik performans ile ekonomik büyüme arasındaki ilişkinin panel veri analizi. *Sosyoekonomi Dergisi*, 29(52), 101–118.

7. Manavgat, D., & Demirci, E. (2021). Lojistik performans endeksinin sıralı lojistik regresyon analizi ile incelenmesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 20(40), 135–154.

8. Park, J., & Lee, H. (2019). Predictive analytics of logistics performance using machine learning techniques in East Asia. *Journal of Logistics Research*, 11(2), 85–97.

9. Pelit, G. (2023). Türkiye'nin Lojistik Performans Endeksi Üzerine Bir Değerlendirme: 2012–2023 Dönemi. *Lojistik ve Tedarik Zinciri Araştırmaları Dergisi*, 7(1), 1–15.

10. Smola, A. J., & Schölkopf, B. (2004). A tutorial on support vector regression. *Statistics and Computing*, 14(3), 199–222.

11. Yaprak, S. (2024). Türkiye'nin Lojistik Performans Göstergeleri: 2007–2023 Arası Analitik Bir İnceleme. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 24(1), 55–72.

12. Zhang, X., & Liu, Y. (2020). Forecasting regional logistics performance in China using SVR and time series models. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 139, 101968.

ÇAĞRI MERKEZLERİNDE MATEMATİKSEL MODELLEME YAKLAŞIMI İLE SÜREÇ İYİLEŞTİRME

Dr. Öğretim Üyesi Nevra KAZANCI
Sakarya Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği Bölümü
nakbilek@sakarya.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-9525-1755
Metin AKUŞ
CMC Communication and Call Center Services Inc. / R&D Department,
Metin.Akus@cmcturkey.con - https://orcid.org/0009-0005-4510-2531
Mehmet Erdem ŞAMLI
Sakarya Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği Bölümü
E-posta Adresi - ORCID ID
Halil Can Aydın
Sakarya Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği Bölümü,
E-posta Adresi - ORCID ID
Aslı Nur Yıldız
Sakarya Üniversitesi/Endüstri Mühendisliği Bölümü,
E-posta Adresi - ORCID ID

ÖZET

Günümüz iş ortamında çağrı merkezleri, kuruluşların müşterilerle etkin bir şekilde etkileşim kurduğu kritik arayüzler haline gelmiştir. Bu çalışma, çağrı merkezi kalite değerlendirme süreçlerinin operasyonel verimliliğini artırmak için Pyomo destekli matematiksel modelleri entegre eden optimizasyon tabanlı bir çerçeve önermektedir. Temel amaç, kalite değerlendirmelerinin doğruluğunu ve verimliliğini artırmak ve değerlendirme formlarındaki puanlama eksikliklerini en aza indirmektir.

Önerilen model, çağrı merkezi temsilcilerinin performansını objektif olarak değerlendirir ve kişiselleştirilmiş eğitim ihtiyaçlarını belirler. Sistem, kalite değerlendirme formlarındaki düşük performanslı alanları tespit ederek bireysel temsilci gereksinimlerine göre optimize edilmiş eğitim

planları oluşturur. Bu otomasyon, geleneksel olarak manuel süreçleri kolaylaştırmakta ve önemli ölçüde zaman ve operasyonel maliyet tasarrufu sağlamaktadır.

Deneysel bulgular, modelin değerlendirme hatalarını önemli ölçüde azalttığını ve genel süreç otomasyonunu ve hizmet kalitesini artırdığını göstermektedir. Operasyonel iyileştirmelerin ötesinde, sistem daha fazla müşteri memnuniyetini teşvik etmeyi ve çalışan bağlılığını güçlendirmeyi amaçlamaktadır. Önerilen yaklaşım, çağrı merkezi operasyonlarında stratejik performans yönetimine katkıda bulunmakta ve veriye dayalı karar verme sürecine dayanan ölçeklenebilir ve akıllı bir eğitim planlama aracı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çağrı merkezi, eğitim optimizasyonu, matematiksel modelleme.

1. GİRİŞ

Günümüzün hızla değişen iş dünyasında şirketler, pazar dinamiklerine uyum sağlamak ve rekabet avantajı elde etmek için yönetim süreçlerini sürekli olarak gözden geçirmelidir. Dijital çağda çağrı merkezlerinin artan veri hacmi ve çeşitliliği ile başa çıkabilmek için operasyonel yapılarını dönüştürmeleri gerektiği vurgulanıyor [1]. Özellikle müşteri memnuniyetinin kritik öneme sahip olduğu hizmet sektörlerinde operasyonel verimliliğin artırılması ve hizmet kalitesinin sürdürülebilir bir şekilde iyileştirilmesi büyük önem taşıyor.

Araştırmalar, müşteri sadakatini artırmada sorunlara hızlı ve kolay çözümlerin aşırı çabadan daha etkili olduğunu gösteriyor. Bu bağlamda beş temel öneri öne çıkıyor: tekrarlanan aramaları azaltmak, duygusal etkileşimleri etkin bir şekilde yönetmek, kanal değiştirmeyi en aza indirmek, müşteri geri bildirimlerini verimli bir şekilde kullanmak ve hız yerine çözümlere öncelik vermek. Ayrıca, Müşteri Çaba Puanı (CES), müşteri sadakatini ölçmede geleneksel Net Tavsiye Skoru'ndan (NPS) daha etkili bir gösterge olarak kabul edilmektedir [2]. Çağrı merkezleri müşterilerle ilk temas noktası olduğundan, kuruluşun marka algısını ve müşteri sadakatini doğrudan etkileyen stratejik bir işleve sahiptir [3]. Bununla birlikte, müşteri memnuniyetine ulaşma hedefi doğrudan çalışanların verimli ve etkin performansına bağlıdır. Ancak çağrı merkezi süreçlerinin karmaşıklığı ve müşteri taleplerinin çeşitliliği, geleneksel yönetim ve eğitim yaklaşımlarını yetersiz kılmaktadır [4]. Bu noktada optimizasyon teknikleri, özellikle de matematiksel modelleme, çağrı merkezi operasyonlarının verimliliğini artırmak için güçlü araçlar olarak öne çıkmaktadır [5]. Bu tür modelleme yaklaşımları, çalışan performans değerlendirmesi, vardiya çizelgeleme ve eğitim ihtiyaçlarının belirlenmesi gibi kritik alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yapay zeka tabanlı sohbet robotlarının çağrı merkezlerine entegrasyonu ortalama çağrı süresini artırmakta ancak günlük çağrı hacminde önemli bir değişikliğe yol açmamaktadır. Süredeki artış genellikle kullanıcıların sorunlarını daha ayrıntılı ifade etme çabalarından kaynaklanmaktadır. Üstelik bu etkinin dönemler arasında değişiklik gösterdiği de tespit edilmiştir [6]. İnsan-YZ işbirliğine dayalı hibrit ekiplerin, yalnızca insan veya yalnızca YZ yapılarına kıyasla daha yüksek

verimlilik ve yanıt kalitesi sağladığı gözlemlenmiştir [7]. Matematiksel modelleme yaklaşımları operasyonel verimliliği artırmanın yanı sıra eğitim maliyetlerini de azaltarak müşteri taleplerine daha hızlı ve daha doğru yanıtlar verilmesini sağlar. Bu da hizmet kalitesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Özellikle müşteri temsilcilerinin performans değerlendirmesi ve geliştirilmesinde optimizasyon tabanlı sistemlerin kullanılması hem hizmet kalitesini hem de çalışan memnuniyetini artırmaktadır.

Sonuç olarak, önerilen MINLP (Mixed Integer Nonlineer Programming) tabanlı model, çağrı merkezi süreçlerini etkin bir şekilde yönetmek ve eğitim ihtiyaçlarını doğru bir şekilde belirlemek için yenilikçi ve sağlam bir çözüm sunmaktadır. Bu yöntem, hizmet kalitesini ve çalışan memnuniyetini eş zamanlı olarak artırmayı hedefleyen bütüncül ve stratejik bir yaklaşımdır ve rekabet avantajı elde etmek isteyen işletmeler için önemli fırsatlar sunmaktadır. Çağrı merkezi teknolojilerindeki gelişmeler ve bilimsel ilerlemeler ışığında chatbot ve callbot sistemlerinin giderek daha fazla benimsenmesine rağmen, mevcut literatür bu teknolojilerin sınırlılıklarını vurgulamaya devam etmektedir. İnsan ve yapay zeka işbirliğine dayalı hibrit sistemlerin gerekliliğinin altını çizmektedir. İnsan temsilcilerin empati, bağlamsal anlayış ve karmaşık problem çözme konusundaki üstün yetenekleri göz önüne alındığında, bu çalışma insan temsilcilerin süreç yönetimine odaklanmaktadır. İlgili araştırmalar bu yönü desteklemektedir.
Buna paralel olarak, CMC için önerilen eğitim optimizasyon modeli, kuruluşa stratejik bir rekabet avantajı sağlamayı amaçlamaktadır. Geleneksel manuel performans değerlendirme yöntemlerinin ötesine geçen sistem, çalışanların eğitim ihtiyaçlarını temel performans eksikliklerine göre belirleyerek personelin değişen koşullara hızla uyum sağlamasına olanak tanır. Daha da önemlisi, sistem ihtiyaçlarını otonom olarak tanımlayacak ve optimizasyon tekniklerini kullanarak çözüm önerileri üretecek şekilde tasarlanmış olup yeni ve dinamik bir yaklaşımı temsil etmektedir. Hem akademik literatür hem de pratik uygulamalar göz önüne alındığında, doğrudan karşılaştırılabilir bir modelin bulunmaması, çalışmanın ve ortaya çıkan ürünün özgünlüğünü ve yenilikçi niteliğini güçlendirmektedir. CMC'nin ölçeği (7.000'den fazla temsilci istihdam etmesi) ve matematiksel ve sezgisel optimizasyon yöntemlerinin planlanan uygulaması göz önüne alındığında, bu çalışmanın teknolojik katkısı hem açık hem de önemlidir.

Müşteri hizmetlerinde insan-YZ işbirliğini araştıran çalışmalar üç farklı senaryoyu değerlendirmiştir: insan aracılara özel güven, YZ aracılara özel güven ve her ikisini birleştiren hibrit sistemler. Bulgular tutarlı bir şekilde en etkili modelin insan ve YZ temsilcilerinin işbirlikçi bir ortamda birlikte çalıştığı model olduğunu göstermektedir [6]. YZ'nin devreye sokulması hizmet sürelerini uzatır ve insan desteğine olan ihtiyacı artırırken, rutin görevlerdeki şikayetlerin azaltılmasına yardımcı olur [7]. Bununla birlikte, konuşma tanıma hataları ve duygusal zeka eksikliği gibi sınırlamalar, YZ hizmetlerinin yaygın olarak kabul edilmesini engellemiştir [8,9,10]. Bir Çin telekom şirketi araştırması, YZ tabanlı konuşma sistemlerinin uygulanmasının, toplam çağrı hacmini önemli ölçüde etkilemeden ortalama çağrı süresini artırdığını göstermiştir [11]. Benzer şekilde, satışla ilgili konuşmalar üzerine yapılan bir araştırma, sohbet robotlarının satışları

etkili bir şekilde kapatmasına rağmen, müşteriler bir botla konuştuklarının farkına vardıklarında, satın alma oranlarının %79,7 oranında düştüğünü göstermiştir. Bunun başlıca nedeni, chatbot'un sınırlı empati ve bilgi sahibi olduğuna dair algılardı [12]. İletişim merkezi etkileşimleri genellikle Net Tavsiye Skoru (NPS) veya Müşteri Memnuniyeti Skoru (CSAT) gibi metrikler kullanılarak değerlendirilir [13-14]. Bu araçlar genel bir memnuniyet göstergesi sağlamakla birlikte, genellikle yüzeysel puanlamaya dayanmakta ve müşteri deneyiminin bağlamsal dinamiklerini göz ardı etmektedir.
Stanbery ve diğerleri (2023) dijital araçlar ve NPS kullanarak gerçek zamanlı çalışan bağlılığını ölçmenin fizibilitesini araştırırken, Ho ve Nguyen (2023) çevrimiçi incelemeler aracılığıyla kullanıcı duygularını analiz etmiş ve NPS'ye dayalı müşteri memnuniyeti tahmini için bir makine öğrenimi modeli önermiştir [15-16].

Bununla birlikte, temel zorluk devam etmektedir: Müşteri anketlerinden ve etkileşim geçmişlerinden elde edilen acenteye özgü veriler, kişiselleştirilmiş geliştirme stratejilerini bilgilendirmek için nasıl optimize edilebilir ve entegre edilebilir? Önerilen model, dokuzun altındaki NPS puanlarını analiz ederek ve kalite formlarında düşük performans gösteren kriterleri belirleyerek bu sorunu ele almaktadır. Doğrusal programlama (LP) kullanarak, her bir temsilcinin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmiş eğitim listeleri oluşturmaktadır. Bu, geleneksel olarak kalite süpervizörleri tarafından manuel olarak gerçekleştirilen bir sürecin otomatikleştirilmesine olanak tanır.
Bunu yaparken sistem, eğitim planlaması için ölçeklenebilir ve objektif bir mekanizma sunarak CMC'nin kişiselleştirilmiş, uyarlanabilir ve stratejik olarak uyumlu eğitim müdahalelerini geniş ölçekte uygulamasını sağlar.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Temsilci kalite değerlendirme sistemi

Bu çalışmada, çağrı merkezi operasyonunda temsilcilerin performansını değerlendirmek amacıyla sekiz farklı eğitim başlığı altında toplam 18 değerlendirme kriteri tanımlanmıştır. Her bir eğitim, temsilcilerin geliştirmesi hedeflenen belirli yetkinlik alanlarını kapsamaktadır. Bu eğitim konularının her biri bir veya birden fazla değerlendirme kriteri içermekte ve bu kriterler aracılığıyla temsilcilerin ilgili alanlardaki yetkinlik seviyeleri ölçülmektedir.

Değerlendirme sürecinde her bir kriter için tanımlanan puan aralıklarına göre temsilcilerin gelişime açık yönleri tespit edilir ve buna göre bireyselleştirilmiş eğitim planları yapılır. Aşağıda her bir kriterin adı ve ilgili eğitim numarası bir tablo halinde sunulmuştur.

Bu yapıya dayanan modelde, her bir temsilci için değerlendirme kriterlerine atanan hedef puanlar (örneğin 2, 3, 4, 5 veya 15) tanımlanmıştır. Bu puanlar, temsilcinin ilgili yetkinlik alanlarında

ulaşması gereken gelişim düzeyini göstermektedir. Model, her bir temsilci için hedef puanların toplamı 100 olacak şekilde yapılandırılmıştır.

Modelin temel işlevi, her bir temsilcinin mevcut puanları ile bu hedef puanlar arasındaki farkların, yani puan ihtiyaçlarının belirlenmesine dayanmaktadır. Bu ihtiyaç puanlarına dayanarak, temsilcinin hangi eğitim konularında daha fazla gelişime ihtiyacı olduğu sistematik olarak analiz edilir. Puan farkı ne kadar yüksekse, ilgili eğitim başlığının önceliği de o kadar yüksek olur.

2.2. Önerilen LP Modeli

Önerilen temsilci eğitim planlama modelinin MINLP formülsayonu aşağıdaki gibidir. Önerilen MINLP modelinin parametreleri Çizelge 1'de, karar değişkenleri ise Çizelge 2'de verilmektedir.

Çizelge 1. Eğitim planlama modelinin parametreleri

Parameters of the problem	
$P_{i,j}$	i ajanı için j kriterindeki puan gereksinimi, eşik puan ile ajanın mevcut puanı arasındaki fark olarak tanımlanır Eğer ajan kriteri zaten karşılıyorsa, gereksinim sıfır değerini alır.
$PK_{i,j,k}$	i ajanın k eğitiminde tanımlanan j kriteri için puan gereksinimi
rr_r	Eğitimin listedeki sıra numarası

Çizelge 2. Eğitim planlama modelinin karar değişkenleri

Decision variables of the problem	
$PR_{i,k,r}$	i ajanın eğitim listesinde r.sırada olan k eğitimi için puan gereksinimi
$PKK_{i,k}$	i ajanın k eğitimi için puan gereksinimi
$YIK_{i,k}$	Binary değişken. Eğer i temsilcisi k, $k \in \{1, \dots, l\}$ eğitimini alırsa, $YIK_{i,k} = 1$ değerini alır
$YIKR_{i,k,r}$	Bu bir binary değişkendir. Temsilci i k, $k \in \{1, \dots, l\}$ eğitimini r. sırada, $r \in \{1, \dots, l\}$ alırsa 1 değerini alır, aksi halde 0 değerini alır.
$YIJ_{i,j}$	Bu bir binary değişkendir. Eğer i temsilcisine j kriteri atanmışsa 1 değerini alır, aksi halde 0 değerini alır.
$YIJK_{i,j,k}$	Bu bir binary değişkendir. Eğer temsilci i, j kriterine olan ihtiyacını k eğitiminden karşılarsa 1 değerini alır, aksi halde 0 değerini alır.

Objective function

$$Min\ Z = \sum_{i}^{n} \sum_{k}^{l} (PKK_{i,k}) + \sum_{i}^{n} \sum_{k}^{l} (YIK_{i,k}) + \sum_{i}^{n} \sum_{k}^{l} \sum_{r}^{l} PR_{i,k,r}\ (rr_r)$$

Constraints

$$P_{i,j} \leq M \sum_{k=1}^{l} YIJK_{i,j,k} \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \quad \forall\, j \in \{1 \ldots . n\} \qquad (1)$$

$$YIJK_{i,j,k} \leq PK_{i,j,k} \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \forall\, j \in \{1 \ldots . n\}, \forall\, k \in \{1 \ldots . l\} \qquad (2)$$

$$\sum_{J=1}^{n} YIJK_{i,j,k} \leq \left(M * YIK_{i,k}\right) \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \ \forall\, k \in \{1 \ldots . l\} \qquad (3)$$

$$PKK_{i,k} = \sum_{J=1}^{l} (PK_{i,j,k}\ YIJK_{i,j,k}\ ) \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \ \forall\, k \in \{1 \ldots . l\} \qquad (4)$$

$$PKK_{i,k} \leq M \sum_{r=1}^{k} \left(YIKR_{i,k,r}\right) \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \ \forall\, k \in \{1 \ldots . l\} \qquad (5)$$

$$\sum_{r=1}^{l} YIKR_{i,k,r} = YIK_{i,k} \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \ \forall\, k \in \{1 \ldots . l\} \qquad (6)$$

$$PR_{i,k,r} = YIK_{i,k,r} * PKK_{i,k} \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \ \forall\, k, r \in \{1 \ldots . l\} \qquad (7)$$

$$\sum_{r=1}^{l} \left(PR_{i,k,r}\right) = PKK_{i,k} \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \ \forall\, k \in \{1 \ldots . l\} \qquad (8)$$

$$\sum_{k=1}^{l} \left(YIKR_{i,k,r}\right) \leq 1 \qquad \forall\, i \in \{1 \ldots . m\}, \ \forall\, r \in \{1 \ldots . l\} \qquad (9)$$

Bu çalışmada kullanılan amaç fonksiyonu, çağrı merkezi süreçlerinde operasyonel verimliliği artırmak ve eğitim ihtiyaçlarını optimize etmek için geliştirilmiştir. Üç ana bileşenden oluşmakta ve toplam maliyeti minimize etmeyi hedeflemektedir.

İlk parantez, tüm temsilcilerin tüm eğitimlerdeki toplam puanını en aza indirmeyi, böylece kriter ihtiyacını daha az eğitimle karşılamayı hedeflemektedir. İkinci parantez, tüm temsilcilerin ihtiyaçlarını en az eğitimle karşılamasını sağlar. Üçüncü ayraç, tüm temsilcilerin en yüksek puanlı eğitimlere öncelik vermesini sağlar.

Kısıt (1), $P_{i,j}$ pozitif bir değer alırsa, *i* ajanın *j* kriteriyle ilgili en az bir eğitim oturumuna katılmasını sağlar. *M* büyük pozitif bir sayıdır ve kısıtı doğrusallaştırmak için kullanılır.

Kısıt (2), *j* kriterinin *k* eğitiminde yer alması durumunda, *i* ajanının bu kriteri ilgili eğitimden alabileceğini belirtir. Bu kısıt, eğitim modüllerinin doğru kriterlerle eşleşmesini sağlar.

Kısıt (3), *i* ajanının *k* eğitiminden elde edebileceği tüm kriterlerin toplam puanının sıfırdan büyük olması durumunda *i* ajanının *k* eğitimini almasını sağlar. Bu koşul, eğitim ihtiyacının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır.

Kısıt (4), *i* ajanı *k* eğitiminden *j* kriterini alırsa, bu puanların toplamının ajanın *k* eğitimine olan ihtiyacını yansıttığını belirtir. Bu değişken, eğitim planlamasında önceliklendirme için kullanılır.

Kısıt (5), eğer *i* ajanı *k* eğitimine ihtiyaç duyuyorsa, bunu *r*. sırada alacağını belirtir. Bu kısıt, eğitimlerin doğru sırada atanmasını sağlar.

Kısıt (6), eğer *i* ajanı *r*. pozisyonda *k* eğitimi alırsa, *i* ajanı *k* eğitimi almış kabul edilir. Bu, model içinde tutarlılığı sağlar.

Kısıt (7), eğer *i* ajanı *r*. pozisyonda *k* eğitimi alırsa, o zaman ajanın o pozisyonda k eğitimine olan ihtiyacının *PKK*'ya eşit olduğunu belirtir.

Kısıt (8), *i*. ajanın *k*. eğitimi yalnızca bir sırada almasını sağlar.

Kısıt (9), her bir ajanın belirli bir eğitim dizisinde yalnızca bir eğitim alabileceğini belirtir. Bu kısıtlama, zamanlama çatışmalarını önler ve uygun eğitim tahsisini sağlar.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Önerilen model ile ilgili deney parametreleri Çizelge 3'te ve sonuçlar ise 5, 10, 15 ve 30 temsilcili örnek grupları için Çizelge 4' te verilmektedir. Görsel 1'de ilgli sonuçlara ait grafik gösterilmektedir.

Çizelge 3. Deney parametreleri

Temsilci sayısı (i)	Kriter sayısı (j)	$PK_{i,j,k}$	Temslci ***i*** nin ***j.***kriter ile ilgili puan ihtiyacı ($P_{i,j}$)	Sıra rr_r
5-30	0-18	0-66	0-66	1-8

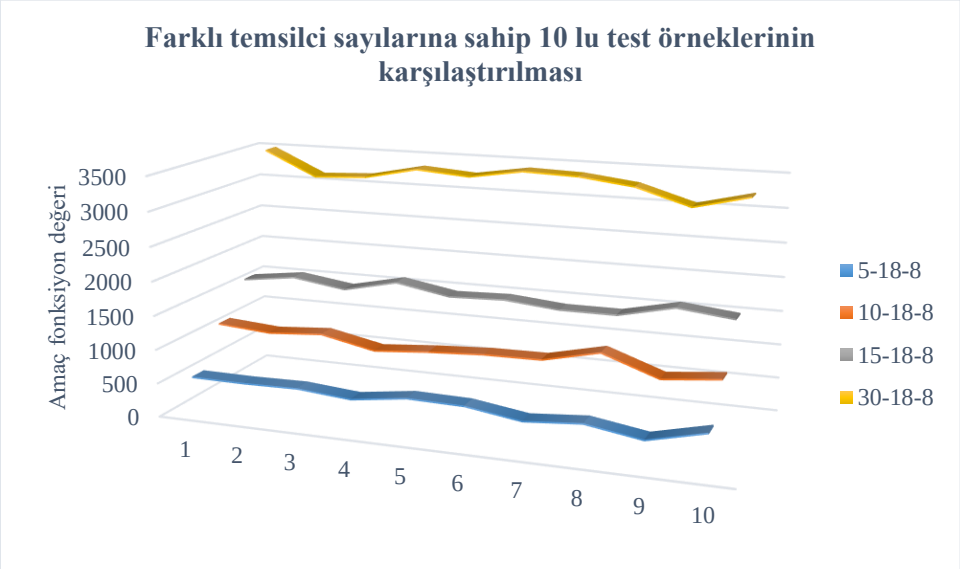
Çizelge 4. 5-10-15-30 temsilcili örnek seti sonuçları

Örnek numarası	5-18-8	10-18-8	15-10-8	30-10-8
1	562	1145	1631	3487
2	556	1085	1730	3125
3	569	1142	1616	3164
4	503	978	1788	3328

5	610	1042	1648	3268
6	594	1087	1673	3393
7	475	1097	1599	3367
8	540	1281	1599	3270
9	412	996	1777	3030
10	607	1080	1689	3224

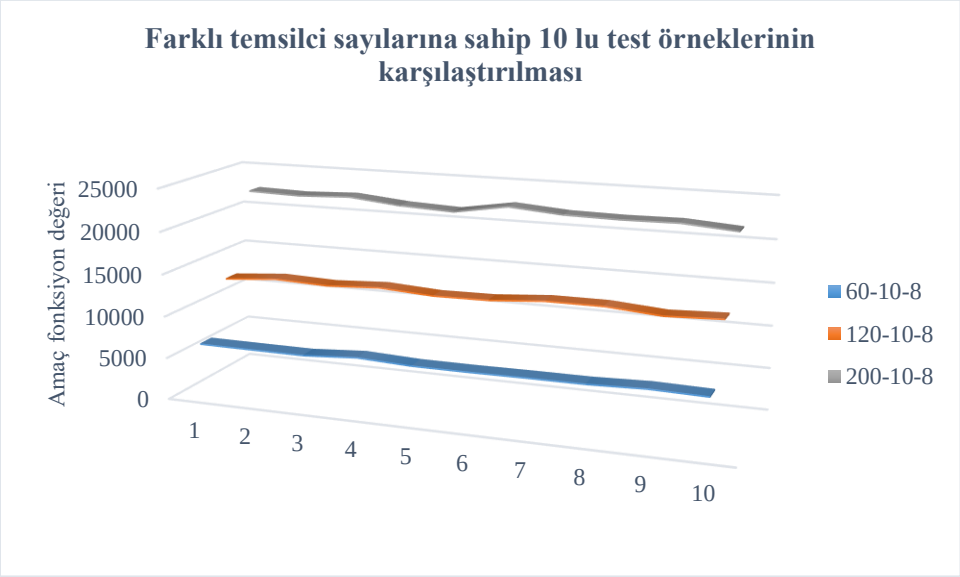
Çizelge 5. 5-10-15-30 temsilcili örnek seti sonuçları

Örnek numarası	60-18-8	120-18-8	200-10-8
1	6472	12799	22316
2	6437	13297	22160
3	6412	13064	22411
4	6819	13377	21794
5	6539	12981	21511
6	6522	13052	22537
7	6570	13529	22036
8	6576	13536	21931
9	6778	13040	22009
10	6638	13296	21542



Görsel 1. 5-10-15-30 temsilcili örnek seti sonuç grafikleri

60, 120 ve 200 temsilcili örneklere ait grafik Görsel 2'de gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde temsilci sayısı arttıkça ilgili eğitimlere olan puan ihtiyacının da arttığı görülmektedir. Ayrıca mevcut modelin yüksek temsilci sayılarında da çalıştığı görülmektedir.



Görsel 2. 60-120-200 temsilcili örnek seti sonuç grafikleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Literatürde çağrı merkezi hizmetleri üzerine yapılan çalışmalar öncelikle müşteri anket değerlendirmelerine dayanmaktadır. Özellikle, alınan hizmet puanının (NPS) analizi. Temel zorluk, hem hizmet hem de satış sonrası aşamalarda müşteri değerlendirme (NPS) verilerini referans alarak temsilci hakkındaki tüm bilgileri optimize etmek ve entegre etmektir; bu sayede memnuniyet, sadakat ve satış hacmini artırmak amaçlanmaktadır. Bu entegrasyonu sağlamak için, kalite formlarına dayalı olarak temsilci eğitimini planlamak üzere bir matematiksel model geliştirilmiştir. Önerilen MINLP (Mixed-Integer Nonlinear Programming) modeli, kriter puanı gereksinimini dikkate alarak temsilcilerin alması gereken kişisel eğitim listelerini ve sıralamalarını üretmektedir.

Sonraki çalışmalarda operasyon ayrımı da sisteme eklenecektir. Bir temsilcinin puan eksiği olmasa da belirli periyotlarda eğitim listesi tekrarlanmalıdır. Bu tekrar yapılırken eğitim süresi en kısa olanlar ilk öncelik olarak verilir veya maliyeti en düşük olan eğitimler ilk verilir.

Gelecek çalışmalarda modelin kapsamı genişletilerek, farklı operasyonel birimlerin özelliklerine göre ayrıştırma yapılması ve eğitim planlamalarının operasyon bazlı optimize edilmesi

hedeflenmektedir. Böylece her operasyonun kendi dinamikleri ve öncelikleri doğrultusunda daha hassas ve işlevsel eğitim listeleri oluşturulabilecektir.

Ayrıca mevcut model yalnızca puan eksiği bulunan kriterleri dikkate almaktadır. Oysa temsilcinin kısa vadede herhangi bir puan eksiği bulunmasa bile, belirli dönemlerde bilgi tazeleme ve yetkinlik güncellemesi amacıyla periyodik eğitimlerin sistematik biçimde tekrarlanması gerekmektedir. Bu doğrultuda modele, belirli periyotlarda zorunlu tekrar eğitimlerini içeren bir zaman tabanlı yeniden eğitim mekanizması entegre edilecektir.

Ek olarak, model yalnızca gelişim ihtiyacını temel alan tek hedefli bir yapıdan çıkarılarak; eğitim maliyetleri, zaman kısıtları, eğitmen kaynakları ve temsilcilerin bireysel müsaitlik durumları gibi çok sayıda faktörün birlikte değerlendirildiği çok amaçlı optimizasyon yapısına dönüştürülmesi planlanmaktadır. Böylece eğitim süreçleri yalnızca bireysel gelişim ihtiyacına değil, aynı zamanda organizasyonel kaynakların etkin kullanımına da odaklanarak daha gerçekçi ve uygulanabilir sonuçlar üretecektir.

KAYNAKÇA

1. Saberi, Morteza, Omar Khadeer Hussain, and Elizabeth Chang. "Past, present and future of contact centers: a literature review." *Business Process Management Journal* 23(3), 574-597, 2017.

2. DIXON, Matthew, et al. Stop trying to delight your customers. *Harvard busines review*, 88.7/8, 116-122, 2010.

3. Gans, N., Koole, G., & Mandelbaum, A. (2003). *Telephone Call Centers: Tutorial, Review, and Research Prospects*. Manufacturing & Service Operations Management, 5(2), 79–141.

4. Aksin, Z., & Harker, P. T. (2001). *Modeling a Call Center with Delay Information*. Operations Research, 49(5), 698–703.

5. Koole, G., & Mandelbaum, A. (2002). *Queueing Models of Call Centers: An Introduction*. Annals of Operations Research, 113(1-4), 41–59.

6. Zhang, Z., Li, B., & Liu, L. (2023). *The Impact of AI-based Conversational Agent on the Firms' Operational Performance: Empirical Evidence from a Call Center*. Applied Artificial

Intelligence, 37(1), 2157592.

7. Kahn, L. H., Savaş, O., Morrison, A., Shaffer, K. A., & Zapata, L. (2020). *Modelling Hybrid Human-Artificial Intelligence Cooperation: A Call Center Customer Service Case Study*. 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Atlanta, GA, USA, 3072-3075.

8. Luo X, Tong S, Fang Z, Qu Z (2019) Sınırlar: makineler ve insanlar: yapay zeka sohbet robotu
ifşasının müşteri satın alımları üzerindeki etkisi. Mark Sci 38(6):937–947. https://doi.org/10.1287/mksc.2019.1192

9. Wang L, Huang N, Hong Y, Liu L, Guo X, Chen G (2023) Çağrı merkezi müşteri hizmetlerinde ses tabanlı yapay zeka: doğal bir saha deneyi. Prod Oper Manage 32(4):1002–1018. https://doi.org/10.1111/poms.13953

10. Longoni C, Bonezzi A, Morewedge CK (2019) Tıbbi yapay zekaya karşı direnç. J Consum Res 46(4):629–650. https://doi.org/10.1093/jcr/ucz013

11. Zhang Z, Li B, Liu L (2023) The impact of AI-based conversational agent on the firms' operational performance: empirical evidence from a call center. Appl Artif Intell 37(1):2157592. https://doi.org/10.1080/08839514.2022.2157592

12. Luo X, Tong S, Fang Z, Qu Z (2019) Frontiers: machines vs. humans: the impact of artificial intelligence chatbot disclosure on customer purchases. Mark Sci 38(6):937–947. https://doi.org/10.1287/mksc.2019.1192

13. Eklof, J., Podkorytova, O., & Malova, A. (2020). Müşteri memnuniyetini finansal performansla ilişkilendirmek: İskandinav bankalarına ilişkin ampirik bir çalışma. *Toplam Kalite Yönetimi ve İş Mükemmelliği , 31* (15-16), 1684–1702. https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1504621

14. Grisaffe, D. (2022). Nihai soruyla ilgili sorular: Reichheld'in net destekçi puanını (NPS)

değerlendirmede kavramsal hususlar | Tüketici Memnuniyeti, Memnuniyetsizliği ve Şikayet Davranışı Dergisi.https://jcsdcb.com/index.php/JCSDCB/article/view/41

15. Stanbery, Kim DNP, RN; Lindley, Karen MBA; Huffman, Carolyn PhD, WHNP. The Feasibility of Using Net Promoter Score to Measure Real-Time Employee Engagement. JONA: The Journal of Nursing Administration 53(1):p 34-39, January 2023. | DOI: 10.1097/NNA.0000000000001239

16. Thanh Ho, Van-Ho Nguyen Source Title: Encyclopedia of Data Science and Machine LearningCopyright: © 2023 |Pages: 16 DOI: 10.4018/ 978-1-7998-9220-5.ch062

THE EFFECTS OF ELECTRONIC MONITORING SYSTEMS ON EMPLOYEES: POST-PANDEMIC CALL CENTER EXPERIENCE

Nevra KAZANCI
Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü,
nakbilek@sakarya.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-9525-1755

Esila SEZGİN
Sakarya Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü,
esila.sezgin@ogr.sakarya.edu.tr - https://orcid.org/0009-0001-4857-8579

Erçin Tevfik ÖZTUNCEL
CMC İletişim ve Çağrı Merkezi Hizmetleri Anonim Şirketi,
Ercin.Oztuncel@cmcturkey.com - https://orcid.org/0009-0006-3233-6416

ÖZET

This study examines the impact of object recognition technologies on data security, professionalism, and employee productivity in call centers. First, the historical development and current state of call centers are discussed, highlighting the main challenges specific to the sector. Then, the role of authentication, biometric controls, and object recognition systems in ensuring data security is discussed. In this context, integrating YOLO algorithms into inappropriate behavior detection and security processes is discussed, and performance comparisons are made regarding accuracy rates, processing speeds, and data augmentation techniques. In addition, the usage areas of these technologies in different sectors were mentioned, and how artificial intelligence-supported digital transformation processes in call centers are combined with employee monitoring systems was analyzed. The environmental advantages and technical challenges of working from home were examined, and the effects of smartphone use, smoking bans, and electronic monitoring on employee psychology and

work performance were evaluated. Finally, the implications of factors such as gender, phone use, inappropriate behavior, and viewing issues (e.g., black screen or camera angle problems) on the work environment are discussed, drawing attention to the multidimensional effects of these factors on employee productivity.

Anahtar Kelimeler: Object Recognition, Yolo, Data Security, Employee Monitoring, Ethical Principles, Clustering

1. INTRODUCTION

Call centers are critical in customer relations and provide 24/7 service through telephone, e-mail, and digital channels. These structures, which emerged in the United States in the 1920s, were modernized under the leadership of AT&T in 1967 and have become widespread in Turkey, especially since the late 1990s [1]. Today, many sectors use call centers to improve customer experience, and according to 2023 data, 58% of these centers operate remotely, 18% in hybrid and 24% in physical office environments. 22% of employees work in the banking, finance, and insurance sectors, and data security issues remain topical [2, 3]. Although measures such as authentication, strong encryption, biometric controls, and multi-factor authentication are widely implemented, incidents such as data theft and unauthorized access still pose serious risks in call centers [3].

For example, call center employees of a bank were found to have illegally transferred customer information to third parties [4]. To prevent such incidents, deploying artificial intelligence-based systems such as object recognition technologies in addition to traditional security practices has become a critical requirement. In addition to detecting inappropriate behavior of employees, object recognition systems aim to prevent data breaches and increase work discipline through screen and environmental analysis [1, 5, 6]. In Turkey, there are approximately 167 thousand employees in the call center sector, with a female employment rate of 70%; the industry is reported to reach a market size of 68.5 billion TL by 2024 [7]. Employee performance is measured through call times, achievement scores, exam results, and team leader evaluations, and these evaluation systems aim to improve service quality [1]. In addition, low turnover and high employee motivation are among the key parameters that directly affect productivity, and research shows that 62% of customers prioritize data security sensitivity even more than service quality [8, 9].

While object recognition systems increase customer trust and brand value, YOLO algorithms play an active role in data security and inappropriate behavior detection in call centers by offering high accuracy and speed [9, 10]. While models such as YOLOv4, YOLOv5, YOLOv7, and YOLOv8 increase their accuracy rates with data augmentation techniques, it is stated that YOLOv7 offers the highest accuracy with 92.7% mAP50 achievement [10]. YOLOv4 provides high accuracy but lags in speed, while YOLOv5 is faster but may have limitations in small object detection [11].

Although these algorithms provide successful results in areas such as traffic signs, vehicle, and pedestrian detection, they can be affected by environmental factors [12].

Different versions of YOLO show significant performance differences in speed and accuracy. For example, YOLOv11 offers 5% higher accuracy compared to previous versions, while reducing the number of parameters and balancing between speed and accuracy [13]. Comparisons of YOLOv3, YOLOv4, and YOLOv5 show that each version improves accuracy rates with different data augmentation techniques, with YOLOv4 in particular offering the best performance in terms of speed and accuracy [14]. While object recognition systems increase customer trust and brand value, YOLO YOLOv5 provides a practical use in security areas by balancing speed and accuracy with large data sets and advanced data augmentation techniques [15]. In addition, YOLO algorithms provide high accuracy values in different application areas such as agriculture, while improving the balance between speed and accuracy with optimized models [16]. Mehmet Sevi and İbrahim Aydın stated that the YOLOv8 algorithm has significantly contributed to security by successfully detecting foreign objects around railway lines with high accuracy [17].

Integrating digital transformation, artificial intelligence, and automation technologies in call centers is critical in increasing customer service efficiency and ensuring data security [18]. In this context, artificial intelligence-based object recognition systems make it possible to prevent inappropriate object use by maintaining the professional behavior standards of employees [19]. In particular, advanced deep learning models such as YOLOv7x have been optimized for practical use in the dynamic working environments of call centers with high accuracy rates and low computational costs [20]. These technologies offer significant opportunities to reduce security vulnerabilities and increase employee discipline and customer satisfaction. In addition, the telecommuting model, another dimension of digitalization in call centers, has remarkable results in terms of environmental sustainability. Working from home has been shown to reduce environmental impact by reducing carbon emissions by 54%, while also reducing traffic density and air pollution [21]. However, it should be noted that factors such as individual energy consumption can offset the environmental advantages of remote working [22]. Integrating digital transformation, artificial intelligence, and automation technologies in call centers is critical in increasing customer service efficiency and ensuring data security [18]. In this context, in light of all these developments, object recognition technologies working with the YOLO algorithm stand out as a powerful tool to not only ensure data security in call centers, but also to optimize customer experience and employee productivity. Thanks to the real-time analysis capabilities of these technologies, it seems possible for call center processes to become more reliable, efficient, and professional [23].

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data Set and Analysis

Table 1 above summarizes the analysis of a total of 83080 data records. The data were analyzed under three headings. Firstly, the effects of Smartphone use; secondly, the effects of smoking bans on employee behavior and gender; and finally, the impact of electronic monitoring on employee psychology and gender.

Table 1. Employee behavior and gender data

Row Labels	Phone Usage	Inappropriate Behavior	BlackScreen	CameraAngle Problem
Project A	**15**	**0**	**15417**	**20738**
Men	4	0	1367	1265
Women	11	0	14050	19473
Project B	**420**	**15**	**33724**	**14556**
Men	66	4	2501	1328
Women	354	11	31223	13228
Project X	**536**	**18**	0	**25651**
Men	34	0	0	2513
Women	502	18	0	23138
Project Y	**364**	**14**	0	**431**
Men	47	2	0	143
Women	317	12	0	288
Project Z	**1449**	**54**	0	**21704**
Men	151	23	0	3347
Women	1298	31	0	18357
Grand Total	**2784**	**101**	**49141**	**83080**

2.2. Negative Effects of Smartphone Use on Workplace Productivity and Performance

Smartphone use in the workplace can negatively affect employees' productivity and time management skills by distracting them. Studies have revealed a positive relationship between smartphone addiction and academic and occupational procrastination behaviors [24, 25]. This situation is a factor that directly affects employee performance [26]. For example, in an analysis of call center projects, 1,449 instances of phone usage were detected in Project Z, which is relatively high compared to Projects X (536) and Y (364). This may prevent employees from focusing on work processes and also increase the risk of data leakage. In addition to distraction, smartphones can lead to work-family conflicts and a weakening of discipline in the work environment [27]. These effects are not limited to the business world but can have similar educational consequences. Studies on high school students and teachers have found that high levels of nomophobia are associated with decreased academic achievement and increased difficulty focusing, likely due to increased phone usage time [28, 29]. However, it is also emphasized that smartphones can support teaching when appropriate technical infrastructure is provided in education [30]. Similarly, in studies conducted with university students, a negative correlation was observed between phone addiction, low academic

achievement, and poor time management [31].On the other hand, it was found that phone usage habits at the workplace differed according to gender; female employees (2482) used phones more intensively than male employees (302), and this finding is consistent with previous literature that phone addiction is more common among women [26].

2.3. The Effects of Smoking Bans on Employee Behavior and Gender

Smoking bans affect employee health and critical elements such as safety, discipline, and workplace productivity. The safety risks posed by smoking in enclosed workspaces negatively affect both smokers and other workers [32]. Project-based analyses reveal that the level of smoking ban enforcement varies between projects; for example, Project Z recorded 54 instances of inappropriate behavior, while Project A recorded no violations. These data suggest that deterrent measures were not sufficiently effective in some projects. Regular compliance monitoring with bans is essential for protecting employee health and increasing service efficiency [33]. Judicial decisions that employment contracts can be terminated for cause in cases of violating the smoking ban in the workplace support the legal dimension of this situation [34]. Studies conducted after the pandemic show that employees who smoke have adverse effects on productivity and service quality [35]. It has been observed that smoking bans, especially in indoor office environments, have more effective results compared to outdoor environments and contribute to a healthy working atmosphere [36]. According to gender-based assessments, 29 inappropriate behaviors were recorded for male employees and 72 for female employees, indicating that smoking-related disciplinary problems may be more prevalent among female employees. All these findings suggest that smoking is an issue that needs to be carefully monitored and effectively managed not only in terms of physical health but also in terms of workplace integrity and organizational productivity.

2.4. The Effects of Electronic Monitoring on Employee Psychology and Gender

Although electronic monitoring practices are employed in workplaces to enhance employee performance, they can have negative psychological and motivational consequences in the long term. The feeling of being constantly monitored leads to increased stress levels, decreased job satisfaction, and a general loss of motivation, which negatively affects the workplace atmosphere, particularly in terms of damage to the perception of privacy [37]. Therefore, it is of great importance that electronic monitoring is conducted within the framework of transparency and fairness principles [38]. Research shows that monitoring practices can trigger psychological problems such as anxiety and depression and thus have adverse effects on employee performance [39]. Additionally, it is noted that security monitoring activities may erode employees' trust in their employers by creating a perception of privacy violation [40]. Ethical and balanced monitoring systems, on the other hand, can improve performance and minimize psychological effects. According to the data obtained from the tables, technical or behavioral problems, such as "Camera Angle Problems" and "Black Screen," are common in some projects, especially in Project Z, where 21,704 camera angle problems were detected. At the same time, no "Black Screen" cases were recorded. This suggests that workers face technical infrastructure deficiencies or struggle to adapt to the systems. According to gender-based assessments, it is observed that female employees experience problems related to electronic monitoring more intensely.

Specifically, "Black Screen" cases were reported 45,273 times for women and 3,868 times for men, and "Camera Angle Problem" cases were reported 74,484 times for women and 8,596 times for men. These data indicate that female employees are more significantly affected by the electronic monitoring process, making it a potential source of stress. In conclusion, while electronic monitoring systems offer valuable tools for enhancing employee safety and operational efficiency, they can ultimately harm employee performance and workplace productivity when implemented without considering the importance of privacy, psychological well-being, and employee motivation. Therefore, it is inevitable that these systems should be designed in an ethical, transparent, and human-centered manner [38].

2.5. Causes of Remote Working and Technical Problems and Their Impact on Gender

Studies on the teleworking experiences of academics in the post-pandemic period reveal that the inadequacy of the technological infrastructure used in distance education and working processes, as well as deficiencies in the effective use of technical equipment, stand out prominently [41]. These inadequacies can be considered as one of the main reasons for the technical problems encountered in the workplace. When the table data are analyzed, it is seen that "Black Screen" problems were experienced 49,141 times, while "Camera Angle Problem" cases reached a high number of 83,080. Notably, these technical problems show gender-based differences; "Black Screen" incidents were recorded as 45,273 for female employees and 3,868 for male employees. Similarly, "Camera Angle Problem" incidents were reported as 74,484 for women and 8,596 for men. This situation suggests that gender may be a significant variable in the use of technological equipment and digital adaptation processes. In the literature, there are opinions that men are more prone to technology; it is argued that this predisposition develops as a reflection of the association between technology and masculinity and traditional gender roles [42].

Furthermore, in a survey, 54% of participants stated that they believe men are more advantageous than women in computers and technology [43]. These differences in perception influence attitudes and skills related to the use of technology. In addition, using non-ergonomic devices, low internet speed, equipment incompatibility, and lack of technical knowledge in remote working environments also complicate technological problems [44, 45]. An inadequate internet connection causes interruptions in video and audio transmission, and users' inability to use software and hardware effectively slows down the resolution process [41]. In light of these findings, for teleworking experiences to become more productive, it is evident that strengthening the technological infrastructure and providing technical training and digital competency support for employees is an inevitable necessity.

3. EXPERIMENTAL STUDIES

3.1. Object Detection Application

This project incorporated datasets from sources such as COCO and Roboflow to achieve its objectives. These datasets are specifically tailored to five object detection categories: cigarettes, phones, glasses, tablets, and pens. They are customized and self-labeled into four object detection types: cigarettes, phones, glasses, tablets, and pens. Extensive experiments are conducted to evaluate the efficiency and cost-effectiveness of

YOLO-V11 models on the CMC dataset. The different versions in the YOLOv11 family vary in model size, speed, accuracy, and use cases. Yolo v11n(Nano) is the smallest and lightest model. Fast estimation time with low hardware requirements. It is ideal for mobile applications and systems with limited resources. Generally, it has a lower accuracy rate. The Yolo v11s (Small) is slightly larger than the Nano model. With more layers and parameters, the correction and object detection rate increases. It offers a good balance between speed and accuracy. Suitable for mid-range devices. YOLOv11m (Medium) is a model designed for balance, offering high accuracy and reasonable speed. It is ideal for both server solutions and more powerful mobile devices.

YOLOv11l (Large) has more layers and higher accuracy. It is recommended that it work with larger and more powerful hardware. It is generally used in real-time applications but has higher latency. YOLOv11x (Extra Large) is the largest and most complex model in the YOLO series. It provides high accuracy and detailed object detection but requires extreme hardware resources; it is generally preferred for research and advanced applications. A comparison of Yolo v11 models for the CMC dataset is shown in Table 2. A detailed comparison of different YOLOv11 model versions for object detection with the CMC dataset in terms of performance and resource utilization is shown in Table 2. YOLO-V11n outperformed with an inference speed of 180 FPS on the CMC dataset. The comparative analysis concludes that the YOLO-V11n and YOLO-V11s models achieve faster inference speeds while maintaining high accuracy in detecting vehicles. Conversely, YOLO-V11m and YOLO-V11l models detect vehicles with enhanced accuracy but at the cost of slower inference speeds.

Table 2. Comparison of object recognition performance results of YOLO V11 models, Vgg16, and Faster RCNN.

Model	Data Set	FPS(640x640)	Memory usage	Latency(ms)	Training time	Model size	Accuracy
YOLO11n	CMC Data	180	3-4gb	1	20 saniye	7mb	0,79
YOLO11s	CMC Data	120	5-6gb	2	40 saniye	25	0,86
YOLO11m	CMC Data	80	6-8gb	4	85 saniye	60.1	0,91
YOLO11l	CMC Data	50	10-12	8	95 saniye	120.3	0,93
YOLO11x	CMC Data	30	12-16	14	2 dakika	180	0.94
Vgg16	CMC Data	180	1 gb	2	30 saniye	528mb	78.5
Faster R CNN	CMC Data	30	4-5gb	100	1.5 dk	200mb	81.5

Table 3. The characteristics of the computer on which the experiments were performed

Processor (CPU)	Graphics Card (GPU)	RAM	Operating System	Storage
13th-generation Intel Core i7-13700K	NVIDIA RTX A5000	32 GB (32768 MB)	Windows 11 Pro 64-bit	1 TB SSD

3.2. Clustering

3.2.1. Data Preprocessing

The dataset includes observations of problems encountered in various video projects, as well as observations of individuals solving these problems. The following preprocessing steps were performed before analysis:

- Cleaning Missing Data: Records with missing values were excluded from the analysis to preserve the integrity of the observation.
- Digitization Procedures: Categorical variables such as gender were converted to numeric values (Female = 0, Male = 1).
- Feature Selection: The variables included in the analysis were determined as "Black Screen," "Camera Angle Problem," "Phone Usage," "Multiple People," "Inappropriate Behavior," and "Gender," reflecting the problem types and individual behavioral differences.

3.2.2. Determining the Number of Clusters

Three different metrics were used to determine the optimal number of clusters to be used in the clustering algorithms to be applied:

- Elbow Method: The ideal number of clusters was determined by examining the rate of decrease in intra-cluster variance.
- Silhouette Score: The similarity level of the observations with the clusters to which they belong was analyzed.

According to the results obtained from these methods, the optimal number of clusters was determined as 7.

3.2.3. K-Means Clustering

The K-Means algorithm is a center-based clustering approach that aims to minimize the total intra-cluster variance by grouping each observation around the nearest center. Implemented using the Scikit-learn library, this algorithm was used as the basic method. First, the optimal number of clusters should be determined before proceeding with the clustering algorithm. To determine the optimal number of clusters and ensure their accuracy, three different methods were used. An appropriate number for the analysis of all of them was attempted to be found. When selecting methods, care is taken to choose those that are compatible with each other. Additionally, methods suitable for integration with the chosen clustering algorithms are selected. After all these criteria, Elbow Method and Silhouette Score were selected. When the Elbow method and Silhouette score are evaluated together, these three different metrics give consistent clues about the optimal number of clusters in the dataset. In the Elbow method graph, the breaking point where the inertia value slows down after a rapid decline occurs around cluster 7, while a second, weaker breakpoint is observed around cluster 16. This shows that after 7 clusters, the contribution of each new cluster to the explanatory power decreases. In terms of the Silhouette score, it reaches a very high value

of 0.9407 in cluster 7 and almost reaches a maximum of 0.9934 in cluster 16. This indicates that in 7 clusters, remarkably well-separated clusters are obtained.

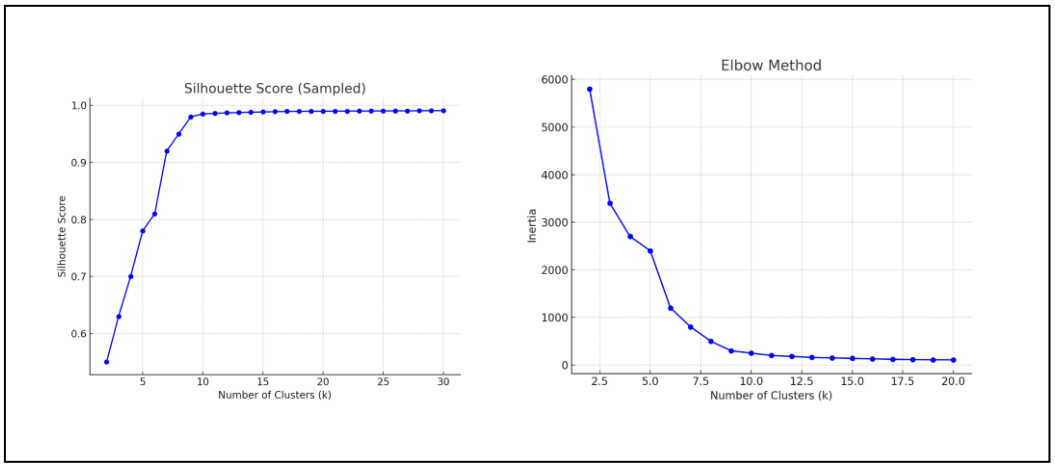


Figure 1. The Silhouette score (1a) and Elbow method (1b)

First, the results of 7 clusters were evaluated with the K-Means algorithm.

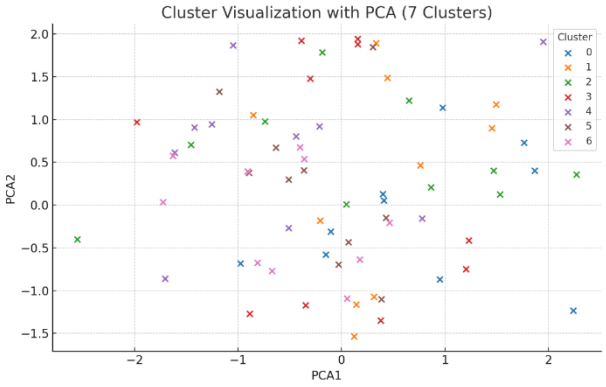


Figure 2. Cluster Visualization with PCA

4. DISCUSSION

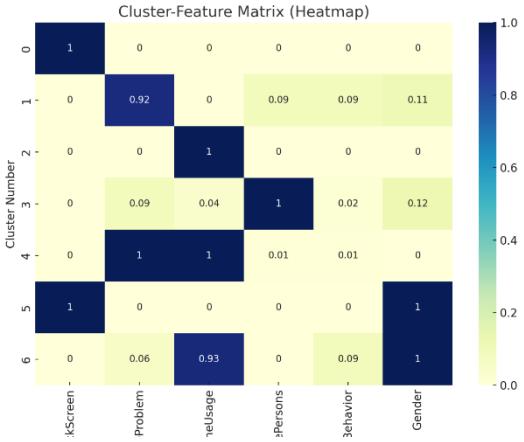


Figure 3. Cluster-Feature Matrix

Cluster 0

This cluster represents the densest cluster, consisting entirely of male individuals who only experience black screen problems. It is notable for its homogeneous structure.

Cluster 1

This cluster primarily consists of individuals with camera angle issues and exhibits a predominantly male composition.

Cluster 2

This cluster is a homogeneous group of all male individuals who only use phones. This behavior is concentrated among male individuals.

Cluster 3

This cluster, which represents situations involving more than one person in the environment, consists predominantly of male individuals but also includes a small number of females.

Cluster 4

It represents a small but distinct cluster that exhibits camera angle problem and phone use together. It is noteworthy that it consists entirely of male individuals.

Cluster 5

This cluster, comprising only female individuals with black screen issues, exhibits a gender-segregated structure. It is directly comparable to Cluster 0.

Cluster 6

It is a homogeneous group consisting of all female individuals who exhibit similar phone usage behaviors. It is understood that this behavior varies based on gender. The black screen problem shows an apparent gender-based differentiation.

These results, given in Figure 3, suggest that individuals can be grouped meaningfully based on specific behavioral patterns and that demographic variables, such as gender, significantly influence the cluster structure in certain instances. This structure can serve as a valuable reference for both analyzing user behavior and developing relevant solution strategies.

5. CONCLUSION

This study analyzes the multidimensional effects of AI-based object recognition technologies on data security, employee behavior, and workplace productivity in call centers. The findings reveal that YOLO algorithms offer high accuracy and processing speed, especially in detecting inappropriate behavior, preventing data leaks, and ensuring work discipline. Factors such as phone usage, smoking habits, and electronic monitoring have significant implications for employee psychology, motivation, and gender-based differences. Data-based analyses suggest that female employees experience more technical problems adapting to digital systems and are more sensitive to electronic monitoring, which may increase their stress levels. It was also found that although teleworking provides environmental benefits, technical infrastructure deficiencies and digital inequalities can negatively affect employee performance. Cluster analyses have shown that employee behaviors can be grouped into specific patterns and that these groups provide meaningful insights for management policies. In line with all these results, it is emphasized that artificial intelligence-supported object recognition systems in call centers should be considered as a strategic tool not only for security purposes, but also in the context of corporate ethics, employee welfare, and sustainable productivity.

KAYNAKÇA

1. Ö. Turan, Çağrı Merkezlerinde Çalışanların İş Tatminlerinin Performansa Etkisi ve İletişim Sektöründe Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, 2007. [Online]. Available: https://nek.istanbul.edu.tr/ekos/TEZ/42344.pdf.

2. Müşteri Deneyimi Yönetimi ve Teknoloji Derneği, 2023 Yılı Raporu, 2023. [Online]. Available: https://www.mdyd.org.tr/_files/ugd/fdbd75_9a78320299954adeb39e2e4090f7d7ee.pdf.

3. H. Benli, "Kimlik Doğrulama ve Erişim Kontrolü Teknikleri," Artificial Intelligence Security Lab (AISECLAB), Haziran 2023. [Online]. Available: https://harunbenlihb.medium.com/kimlik-do%C4%9Frulama-ve-eri%C5%9Fim-kontrol%C3%BC-teknikleri-2523bb99361d.

4. "Bankada inanılmaz skandal: Çalışanlar müşteri bilgilerini satmışlar," ABC Gazetesi, 2023. [Online]. Available: https://abcgazetesi.com/bankada-inanilmaz-skandal-calisanlar-musteri-bilgilerini-satmislar-357923.

5. "Çağrı merkezlerindeki yeni trendler," SHN, 2023. [Online]. Available: https://www.shn.com.tr/cagri-merkezlerindeki-yeni-trendler/.

6. "Çağrı merkezlerindeki yeni trendler," SHN, 2023. [Online]. Available: https://www.shn.com.tr/cagri-merkezlerindeki-yeni-trendler/.

7. Müşteri Deneyimi Yönetimi ve Teknolojileri Derneği, 2024 Araştırması: Dönüşen ve Büyüme İştahını Sürdüren Ekosistem, PwC işbirliği ile hazırlanmıştır, Kasım 2024. [Online]. Available: https://www.mdyd.org.tr/_files/ugd/fdbd75_1a7c90e72ebf4e03b142b0f0ff6f8774.pdf.

8. Y. Çil and H. Baysal, "Çağrı Merkezi Çalışanlarına Yönelik Motivasyon Uygulamaları Üzerine Nicel İçerik Analizi," International Journal of Economics, Politics, Humanities & Social Sciences, vol. 3, no. 3, pp. 1-10, Summer 2020. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1200115.

9. Müşteri Deneyimi Yönetimi ve Teknolojileri Derneği, Çağrı Merkezlerinin Dönüşen Dünyaya Uyumu, 2023. [Online]. Available: https://www.mdyd.org.tr/.

10. M. A. R. Alif and M. Hussain, "YOLOv1 to YOLOv10: A comprehensive review of YOLO variants and their application in the agricultural domain," arXiv preprint, arXiv:2406.10139, June 17, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2406.10139.

11. M. L. Ali and Z. Zhang, "The YOLO Framework: A Comprehensive Review of Evolution, Applications, and Benchmarks in Object Detection," Computers, vol. 13, no. 12, p. 336, Dec. 2024, doi: 10.3390/computers13120336. [Online]. Available: https://www.mdpi.com/2073-431X/13/12/336.

12. J. E. Gallagher and E. J. Oughton, "Surveying You Only Look Once (YOLO) multispectral object detection advancements, applications, and challenges," arXiv preprint, arXiv:2409.12977, Sep. 3, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2409.12977.

13. R. Khanam and M. Hussain, "YOLOv11: An overview of the key architectural enhancements," arXiv preprint, arXiv:2410.17725v1, Oct. 23, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/html/2410.17725v1.

14. M. A. M. Ali, T. Aly, A. T. Raslan, M. Gheith, and E. A. Amin, "Advancing crowd object detection: A review of YOLO, CNN, and ViTs hybrid approach," Journal of Intelligent Learning Systems and Applications, vol. 16, no. 3, Aug. 2024. [Online]. Available: https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=135078.

15. J. E. Gallagher and E. J. Oughton, "Surveying You Only Look Once (YOLO) multispectral

object detection advancements, applications, and challenges," arXiv preprint, arXiv:2409.12977, Sep. 3, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2409.12977.

16. C. M. Badgujar, A. Poulose, and H. Gan, "Agricultural object detection with You Only Look Once (YOLO) algorithm: A bibliometric and systematic literature review," arXiv preprint, arXiv:2401.10379, Jan. 18, 2024. [Online]. Available: https://arxiv.org/abs/2401.10379.

17. M. Sevi ve İ. Aydın, "Detection of foreign objects around the railway line with YOLOv8," *Computer Science*, cilt IDAP-2023, ss. 19-23, 2023. Erişim: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3346537, DOI: [10.53070/bbd.1346317](https://doi.org/10.53070/bbd.1346317).

18. H. Aybars, "Çağrı merkezlerinde yapay zeka devri!" BThaber, Jan. 2, 2025. [Online].Available: https://www.bthaber.com/cagri-merkezlerinde-yapay-zeka-devri/. [Accessed: 3-Mar-2025].

19. "Çağrı merkezlerinde yapay zeka ve otomasyonun rolü," Inova Assist, [Online].

20. Q. U. Islam, F. Khozaei, E. M. S. Al Barhoumi, I. Baig, and D. Ignatyev, "Advancing autonomous SLAM systems: Integrating YOLO object detection and enhanced loop closure techniques for robust environment mapping," Robotics and Autonomous Systems, vol. 185, p. 104871, Mar. 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.robot.2024.104871. [Accessed: 3-Mar-2025].

21. "Evden çalışma çevreye de faydalı: Karbon salımını yüzde 54 azaltıyor," İndytürk, [Online]. Available: https://www.indyturk.com/node/661976/yaşam/evden-çalışma-çevreye-de-faydalı-karbon-salımını-yüzde-54-azaltıyor?utm_source=. [Accessed: 3-Mar-2025].

22. "Çevresel sürdürülebilirlik kazanımlarına uygun uzaktan çalışma modellerinde neler dikkate almalı?," Sosyal Up, [Online]. Available: https://sosyalup.net/cevresel-surdurulebilirlik-kazanimlarina-uygun-uzaktan-calisma-modellerinde-neler-dikkate-almali/. [Accessed: 3-Mar-2025].

23. "2025 yılında çağrı merkezlerini bekleyen yeni trendler," AloTech, [Online]. Available: https://alotech.com.tr/2025-yilinda-cagri-merkezlerini-bekleyen-yeni-trendler/. [Accessed: 3-Mar-2025].

24. A. B. Güngör and O. Koçak, "Üniversite öğrencilerinin akıllı telefon bağımlılığı ve akademik erteleme davranışı arasındaki ilişkinin incelenmesi," Eğitim ve Teknoloji Araştırmaları Dergisi, vol. 7, no. 2, pp. 397-419, Dec. 2020. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/pub/etad/issue/58757/716586. [Accessed: 11-Mar-2025].

25. A. Akkuş, "Akıllı telefon kullanımı ve kişisel zaman yönetimi arasındaki ilişki üzerine bir araştırma," Pearson Journal, [Online]. Available: https://www.pearsonjournal.com/index.php/pub/article/view/57. [Accessed: 11-Mar-2025]. doi: 10.46872/pj.98.]

26. M. Türk, S. Yılmaz, and A. Yalçın, "İş yerinde akıllı telefon kullanımının performans ve iş tutumları üzerine etkilerinin incelenmesi," Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, vol. 29, no. 4, pp. 331-353, 2020. [Online]. Available: https://www.acarindex.com/cukurova-universitesi-sosyal-bilimler-enstitusu-dergisi/is-yerinde-akilli-telefon-kullaniminin-performans-ve-is-tutumlari-uzerine-etkilerinin-incelenmesi-616558. [Accessed: 11-Mar-2025].

27. https://www.researchgate.net/publication/341554132_Akilli_Telefon_Bagimliliginin_Is_Performansi_Uzerindeki_Etkisi Akıllı Telefonun Bağımlılığının İş Performansı Üzerindeki Etkisi , Ocak 2019, Yazarlar: Özlem Çetinkaya Bozkurt, Esra Burcu, Esra bulgurcu gürel, Öğr Nisa Gör, Akdeniz Ekşili

28. H. Göktaş and V. Demirer, "Lise öğrencilerinin nomofobi, akıllı telefon bağımlılığı ve akademik başarı düzeyleri arasındaki ilişki," Eğitimde Teknoloji Kullanımı ve Uygulamaları Dergisi, vol. 13, no. 1, pp. 209-232, Jan. 2023. doi: 10.17943/etku.1130214.]

29. T. N. Tok, Ö. Özgüray, and A. Özgüray, "Öğretmen ve okul yöneticilerinin telefonsuz kalma korkusu," Anatolian Journal of Education and Learning Innovation, vol. 11, no. 2, pp. 186-205, Dec. 2023. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/pub/ajeli/issue/81947/1210664. [Accessed: 11-Mar-2025].

30. K. Yıldırım, Ö. Yaşar, and M. Duru, "Öğretmen ve öğrenci görüşleri temelinde akıllı telefonların eğitim öğretim ortamlarında kullanılmasının ve etkilerinin incelenmesi," International Journal of Education, Science and Technology, vol. 2, no. 2, pp. 72-84, 2016. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/227994. [Accessed: 11-Mar-2025].

31. S. Yılmaz and Ö. Korkmaz, "Tıp fakültesi öğrencilerinin akıllı telefon bağımlılığı, sosyal

medya bağımlılığı ve zaman yönetimi becerilerinin incelenmesi," Güncel Eğitim ve Bilim Dergisi, vol. 10, no. 2, pp. 269-292, Aug. 2024. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/pub/gebd/issue/86417/1478896. [Accessed: 11-Mar-2025].

32. Gaziantep Akıllar Avukatlık, "İşyerinde sigara içme ve iş güvenliğini tehlikeye düşürme sonucu iş akdinin feshi," 2024. [Online]. Available: https://akillar.av.tr/isyerinde-sigara-icme-ve-is-guvenligini-tehlikeye-dusurme-sonucu-is-akdinin-feshi/. [Accessed: 11-Mar-2025]

33. N. Bilir and A. N. Yıldız, Çalışma Hayatı ve Sigara (Sigarasız İşyerleri), Ankara: T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, 2008. [Online]. Available: https://ekutuphane.saglik.gov.tr/Home/GetDocument/217. [Accessed: 11-Mar-2025].

34. A. Tümbaş, "İşyerinde sigara içmek işten çıkarmak için haklı bir neden midir?," Ali Tümbaş Avukatlık Bürosu, Jun. 5, 2024. [Online]. Available: https://alitumbas.av.tr/isyerinde-sigara-icmek-isten-cikarmak-icin-hakli-bir-neden-midir/. [Accessed: 11-Mar-2025].

35. B. Garda, "Pandemi sonrası sağlıklı yaşama odaklanma: Konaklama işletmeleri çalışanlarının sigara tüketimi üzerine bir araştırma," Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, vol. 25, no. Özel Sayı, pp. 335–349, Sep. 2022. [Online]. Available: https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2500486. [Accessed: 11-Mar-2025].

36. S. Saraç, "İşyerinde sigara içme yasağının sigara içme davranışı üzerine etkisi," The Journal of Turkish Family Physician, vol. 9, no. 3, pp. 78–84, Sep. 2018. [Online]. Available: https://turkishfamilyphysician.com/makaleler/arastirma/isyerinde-sigara-icme-yasaginin-sigara-icme-davranisi-uzerine-etkisi/. [Accessed: 11-Mar-2025].

37. S. Charara, "Your boss wants you back in the office. This surveillance tech could be waiting for you," Wired, Feb. 26, 2025. [Online]. Available: https://www.wired.com/story/your-boss-wants-you-back-in-the-office-this-surveillance-tech-could-be-waiting-for-you/. [Accessed: 11-Mar-2025].

38. S. Copson, "Snooping bosses raise workplace stress and lower productivity," The Times, Oct. 9, 2024. [Online]. Available: https://www.thetimes.com/business-money/economics/article/snooping-bosses-raise-workplace-stress-and-lower-productivity-zbzwh2qcw. [Accessed: 11-Mar-2025].

39. T. Saunders, "'Bossware' computer tracking devices harm workers' wellbeing, says report," The Times, Nov. 29, 2024. [Online]. Available: https://www.thetimes.com/article/bossware-computer-tracking-devices-harm-workers-wellbeing-says-report-m37krsd2r. [Accessed: 11-Mar-2025].

40. D. Wiessner, "EEOC says wearable devices could lead to workplace discrimination," Reuters, Dec. 19, 2024. [Online]. Available: https://www.reuters.com/legal/government/eeoc-says-wearable-devices-could-lead-workplace-discrimination-2024-12-19/. [Accessed: 11-Mar-2025].

41. S. Kablaya, "Akademide Tele Çalışma Deneyimleri: Niteliksel Bir Çalışma," DergiPark, 2023. [Online]. Available: dergipark.org.tr.

42. Wajcman, J. (1991). Feminism Confronts Technology. Cambridge: Polity Press.

43. Deloitte & TÜBİSAD. (2018). Teknoloji Sektöründe Kadın. https://www.tubisad.org.tr/tr/images/pdf/deloitte-tubisad-teknoloji-sektorunde-kadin-raporu.pdf

44. M. A. Altın and O. Ülker, "Tasarım Öğrencilerinin COVID-19 Kapanmasındaki Yoğun Uzaktan Eğitim Döneminde Ortaya Çıkan Ergonomik Sorunlarının İncelenmesi," Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, vol. 13, no. 3, pp. 188-201, 2021. [Online]. Available: researchgate.net.

45. M. Akça and M. Tepe-Küçükoğlu, "Covid-19 ve İş Yaşamına Etkileri: Evden Çalışma," Uluslararası Yönetim Eğitim ve Ekonomik Perspektifler Dergisi, vol. 8, no. 1, pp. 71-81, 2020. [Online]. Available: iksadyayinevi.com.

SINAV SİSTEMLERİNDE ETKİN KAYNAK KULLANIMI: MVC TABANLI BİR YAKLAŞIM

Osman Nuri ŞAKAR
Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
osman.sakar@atauni.edu.tr-0000-0003-2571-6307
Prof. Dr. Vecihi YİĞİT
Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı,
vyigit@atauni.edu.tr- 0000-0003-0625-3140

ÖZET

Bu çalışmada, ASP.NET platformunda geliştirilen iki farklı mimari yapı olan Web Forms (ASPX) ve Model-View-Controller (MVC) sistemleri, aynı sanal sunucu altyapısı üzerinde performans açısından karşılaştırılmıştır. Günümüzde web uygulamalarının artan kullanıcı yüklerine hızlı ve kararlı yanıt verebilmesi, mimari yapının ve veri erişim yöntemlerinin sistem performansı üzerindeki etkisini daha da kritik hale getirmiştir. Bu bağlamda, çalışmanın temel amacı; farklı yazılım mimarilerinin ve veri erişim stratejilerinin, aynı altyapı koşullarında sunduğu performans çıktılarının nesnel ve ölçülebilir verilerle ortaya konulmasıdır.

ASPX sistemi, doğrudan SQL Server üzerinde tanımlı Stored Procedure'leri kullanırken; MVC mimarisi aynı prosedürlere Entity Framework aracılığıyla erişim sağlamıştır. Her iki sistem de aynı MSSQL veritabanına bağlanmış ve yalnızca öğrenci cevaplama sayfası hedeflenerek HTTP POST işlemleri test edilmiştir. Her ne kadar testler sanal sunucular üzerinde gerçekleştirilmiş olsa da bu sanal makineler fiziksel bir donanım üzerinde konumlandırılmıştır. Bu durum, performans analizlerinin yalnızca yazılım mimarisiyle sınırlı olmadığını, aynı zamanda donanım kaynaklarının paylaşımı ve sanallaştırma teknolojisinin sistem üzerindeki etkilerini de kapsadığını sergilemektedir. Özellikle yoğun kullanıcı yükleri altında, sanal makinelerin fiziksel donanım kaynaklarını nasıl yönettiği ve birbirleriyle nasıl rekabet ettiği, genel sistem verimliliğini doğrudan etkileyen kritik bir faktördür. Bu doğrultuda, çalışmada elde edilen bulgular yalnızca yazılım

katmanını değil, aynı zamanda sanallaştırılmış altyapının performans üzerindeki rolünü de yansıtmaktadır.

Testler, Apache JMeter aracıyla 1, 100, 500 ve 1000 sanal kullanıcı yükleri altında gerçekleştirilmiş; ortalama yanıt süresi, işlem hacmi, işlem süresi, hata oranı, veri aktarım miktarı ile CPU ve RAM kullanımı gibi metrikler detaylı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, MVC mimarisinin yüksek kullanıcı yükü altında daha kısa yanıt süresi, düşük standart sapma, daha fazla işlem üretme kapasitesi ve daha az kaynak tüketimi ile öne çıktığını göstermiştir. ASPX sistemi ise düşük kullanıcı sayılarında daha yüksek veri aktarımı sağlasa da yüksek yük altında işlem süresi ve yanıt sürelerinde ciddi performans düşüşü göstermiştir. Ayrıca MVC, daha dengeli CPU kullanımı ve işlem sürekliliğiyle daha tutarlı bir performans profili ortaya koymuştur.

Literatürde, yazılım mimarisi ve veri erişim stratejilerinin sistem performansı üzerindeki etkisi çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur. Yapılan araştırmalarda özellikle web uygulamalarında mimari tercihler, kaynak yönetimi, işlem hacmi ve yanıt süresi gibi performans metrikleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, geliştiricilerin yalnızca yazılım katmanı değil; altyapı, kaynak paylaşımı ve veri erişim modeli gibi alt düzey faktörleri de göz önünde bulundurarak sistemlerini tasarlamaları gerektiğini vurgulamaktadır. Özellikle çok kullanıcıya hizmet vermesi beklenen uygulamalarda, MVC benzeri daha modüler ve kaynak dostu yapıların tercih edilmesinin performans açısından avantaj sağladığı açıkça ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: MVC, ASPX, Performans Testi, Sunucu Optimizasyonu, Entity Framework, JMeter

1. GİRİŞ

Günümüzde web tabanlı uygulamalar, kullanıcı sayısındaki hızlı artış ve yoğun işlem yükleri nedeniyle yazılım mimarilerinden yüksek verim alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda ASP.NET MVC mimarisi, modern web uygulamalarında yaygın şekilde benimsenmiştir [7]. Söz konusu yapı, katmanlı mimarisi ve test edilebilirliği sayesinde geliştiricilere önemli avantajlar sunmaktadır [7].

Web uygulamalarında karşılaşılan yüksek trafik ve eş zamanlı oturumlar, sistem performansının gerçekçi biçimde test edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak tercih edilen JMeter aracı, farklı kullanıcı senaryoları ve yük modelleri ile sistemin sınırlarını ölçme imkânı sunar [8]. Kullanıcı yükünü simüle edebilmesi sayesinde, özellikle eş zamanlı oturumların yoğun olduğu uygulamalarda etkili bir test aracıdır [8].

Performans iyileştirme çalışmaları, sistemin kararlılığını ve kaynak kullanımını optimize etmeye yöneliktir [6]. Bu bağlamda hem donanım kaynaklarının hem de yazılım mimarisinin etkin yönetimi kritik önem taşımaktadır [6].

Veri erişim katmanında kullanılan yöntemler de sistem performansını doğrudan etkileyebilir. Örneğin, Entity Framework gibi nesne-ilişkisel eşleme (ORM) araçları, yazılım geliştirme süreçlerinde veri yönetimini kolaylaştırmakla birlikte, geleneksel sorgu yöntemlerine göre farklı performans profilleri sergileyebilir [5].

Mikroservis mimarisi gibi alternatif yapılar, sistemin farklı bileşenlerinin bağımsız şekilde yönetilmesine ve ölçeklenmesine olanak tanımaktadır [2]. Bu yapıların en belirgin avantajları arasında bağımsız ölçeklenebilirlik ve servis ayrıştırması yer bulunmaktadır [2].

Performans göstergeleri arasında yanıt süresi, aktarım kapasitesi ve sistemin ölçeklenebilirliği gibi parametreler yer bulunmaktadır [3]. Bu göstergeler, kullanıcı deneyimini doğrudan etkileyen temel ölçütlerdir [3].

Mimari tercihler, söz konusu performans kriterlerinin başarımında belirleyici bir rol üstlenmektedir. Monolitik yapılardan mikroservislere geçiş gibi stratejik kararlar, sistem başarısını doğrudan etkileyebilir [4]. Bu tür tercihler hem teknik yükün azaltılması hem de sürdürülebilir yazılım geliştirme süreçlerinin desteklenmesi açısından önem arz etmektedir [4].

Performans karakteristiklerinin izlenmesi, mimari karar süreçlerinde yönlendirici bir unsur olarak kabul edilmektedir [1]. İzleme araçları sayesinde darboğazlar ve gecikme kaynakları tespit edilerek sistemin kararlılığı artırılabilmektedir [1].

Literatürde, mikroservis geçişi sırasında karşılaşılan avantajlar ve zorluklar detaylı biçimde analiz edilmiştir [2]. Bu analizlerde öne çıkan noktalar; bağımsız geliştirme, servis bazlı yönetim kolaylığı ve versiyonlama esnekliğidir [2].

Yazılım kalitesiyle ilgili topluluk temelli veriler, geliştirici deneyimleri üzerinden analiz edilmektedir [2]. Bu tür platformlar, mimari tercihlerde karşılaşılan pratik sorunlara dair önemli geri bildirimler sunmaktadır [2].

Bulut ortamında çalışan sistemlerde önerilen mimari desenler, sistemin esnekliğini artırmakta ve yüksek erişilebilirlik sağlamaktadır [5]. Bu desenler aracılığıyla hata toleransı yüksek, sürdürülebilir altyapılar geliştirilebilmektedir [5].

Servisler arası iletişimi düzenlemeye yönelik geliştirilen orkestrasyon stratejileri, sistemin genel kararlılığını desteklemektedir [2]. Etkili servis yönetimi, kaynak kullanımını dengeleyerek performansı artırmaktadır [2].

Performans modelleme teknikleri, büyük ölçekli sistemlerde büyüme senaryolarını öngörmek amacıyla kullanılmaktadır [6]. Bu sayede sistemin olası kullanıcı yükleri altında nasıl davranacağı önceden test edilebilmektedir [6].

Son olarak, önbellekleme mekanizmaları da sık erişilen verilerde işlem sürelerini önemli ölçüde azaltarak sistemin genel yanıt süresine olumlu katkı sağlamaktadır [6].

Bu çalışmada grafiklerin yorumlanması ve metinlerin akademik uygunluk açısından denetlenmesi süreçlerinde yapay zekâ destekli yazılımlar kullanılmıştır. Özellikle grafiksel veri setlerinin yorumlanmasında OpenAI tarafından geliştirilen dil modeli desteği, akademik yazımda ise metin tutarlılığı ve kaynakça-atıf uyumu açısından yazılımsal kontrol araçları etkin şekilde kullanılmıştır [9].

2. YÖNTEM

Bu çalışmada, ASP.NET tabanlı iki farklı yazılım mimarisinin aynı altyapı koşulları altında karşılaştırılması hedeflenmiştir. Test ortamı, Hyper-V sanallaştırma platformu üzerinde yapılandırılmıştır. Sunucu tarafında Windows Server 2022 işletim sistemi çalıştıran bir sanal

makine kullanılmış, bu makineye 2 çekirdekli sanal işlemci ve 5120 MB RAM atanmıştır. Depolama birimi SSD temelli olup, sistem ile test istemcisi arasında 10 Gbps hızında fiziksel ağ bağlantısı yürütülmüştür.

Web uygulamaları, sistem mimarisinin yapısını soyut düzeyde tanımlamak amacıyla UML (Unified Modeling Language) gibi görsel modelleme dilleri ile tasarlanabilmektedir [3]. Bu tür mimari modellemeler, sistemin genel işleyişine dair yapısal ve davranışsal perspektifler sunarak karar verme süreçlerine katkı sağlamaktadır [3].

Test istemcisi, sanal bir cihaz olup Windows işletim sistemine sahip, 6 çekirdekli işlemci ve 20000 MB RAM ile yapılandırılmıştır. Apache JMeter aracı, bu istemci üzerinde çalıştırılarak sistemin belirli senaryolardaki davranışı analiz edilmiştir. Web uygulamalarında yanıt süresi optimizasyonu, özellikle yüksek kullanıcı yükleri altında sistem güvenilirliğini sağlamak açısından kritik öneme sahiptir [8].

Bu çalışmada, senaryo tabanlı testlerin gerçek kullanıcı davranışlarını başarılı şekilde simüle edebilmesi nedeniyle JMeter aracı tercih edilmiştir [8].

Test senaryosu kapsamında yalnızca öğrenci cevaplama sayfasına HTTP POST istekleri gönderilmiştir. Testler 1, 100, 500 ve 1000 eş zamanlı kullanıcı yükü ile yürütülmüştür. Senaryoda Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) ve veri güvenliği ilkelerine tam uyum sağlanmış. Senaryoda ayrıca, gerçek kişisel verilerin kullanılmamasına özen gösterilmiştir. Bu veriler, gerçeğe uygun görünse dahi hiçbir gerçek birey veya kurumla ilişkilendirilemeyecek şekilde tasarlanmıştır. Performans verilerinin analizinde Microsoft Windows Performance Monitor (PerfMon) aracı kullanılarak CPU, bellek ve ağ istatistikleri detaylı olarak izlenmiştir.

Performans değerlendirmelerinde; ortalama yanıt süresi, işlem süresi, hata oranı, işlem hacmi (throughput), veri aktarım miktarı ile CPU ve RAM kullanımı gibi çok boyutlu metrikler dikkate alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan testlerde, MVC mimarili sistemin ASPX sistemine göre daha stabil çalıştığı görülmüştür. Özellikle 500 ve 1.000 kullanıcı seviyelerinde ASPX sisteminde 2,4 saniyeyi aşan ortalama yanıt süresi gibi ciddi performans sorunları gözlenmiştir. Buna karşılık MVC mimarisi altında çalışan sistemin yanıt süreleri ise 1,3 saniyenin üzerine çıkmamıştır.

Çizelge 1. Toplam İşlem Süreleri ve İşlem Sayıları incelendiğinde, kullanıcı yükü arttıkça MVC sisteminin işlem sürelerinde daha kontrollü bir artış sergilediği, ASPX yapısında ise sürelerin daha düzensiz ve hızlı belirli bir düzen içerisinde arttığı görülmektedir. 1000 kullanıcı testinde MVC, 15 dakika 59 saniyede işlemleri tamamlamışken, ASPX 23 dakika 51 saniyede tamamlayabilmiştir. Bu fark, MVC'nin daha verimli kaynak kullanımı ve işlem yönetimi sunduğunu sergilemektedir. Aynı sürede yapılan toplam işlem sayısı açısından da MVC'nin daha yüksek işlem sayıları elde ettiği ve yapı gereği daha fazla işlem yükünü daha verimli şekilde yönetebildiği gözlemlenmiştir. Kullanıcı sayısı eşit tutulmasına rağmen, MVC mimarisi işlem yoğunluğu açısından daha avantajlı bir performans sergilemiştir.

Çizelge 2. Ortalama Yanıt Süreleri ve Hata Oranları'deki yanıt süresi ve hata oranı verilerine bakıldığında, MVC sisteminin düşük gecikme süreleri ve daha az standart sapma değerleriyle çalıştığı dikkat öne çıkmaktadır. Bu durum, sistemin yüksek yük altında dahi tutarlı bir performans sergilediğini sergilemektedir. 1000 kullanıcı senaryosunda MVC'nin ortalama yanıt süresi 39.627 ms iken, ASPX 62.050 ms'ye ulaşmıştır. En hızlı ve en yavaş yanıt süresi değerleri arasındaki fark da MVC tarafında daha dar bir aralıkta kalmış, bu durum da performansın öngörülebilirliğini artırmıştır. Ayrıca, hata oranlarının her iki sistemde de %0 olması, yazılımın fonksiyonel doğruluğunun yüksek olduğunu sergilemektedir.

Çizelge 3. Alınan ve Gönderilen Veri Miktarları ise veri trafiği açısından önemli bir kıyas sunmaktadır. ASPX sistemi, MVC'ye göre çok daha fazla veri göndermekte ve almakta, bu durum da ağ trafiğinde ve bant genişliği tüketiminde ciddi bir yük oluşturmaktadır. Örneğin, 1000 kullanıcı testinde ASPX sisteminde alınan veri 334,42 KB/sn, MVC'de ise 89,39 KB/sn olarak ölçülmüştür. Bu farklılık, ASPX sisteminin ViewState ve form temelli veri taşıma mantığının ağ performansını olumsuz etkilediğini sergilemektedir. MVC ise minimal veri yüküyle daha etkili işlem sunmaktadır.

Görsel 1. MVC ve ASPX Sistemlerinin CPU ve RAM Kullanımı (Zaman Bazlı)

Bu grafik, test süresi boyunca MVC ve ASPX sistemlerinin CPU ve RAM kullanım profillerini sergilemektedir. MVC sisteminde CPU kullanımı test süresince nispeten sabit ve dengeli seyretmiş, RAM kullanımı ise istikrarlı belirli bir düzen içerisinde %30–45 bandında kalmıştır. Buna karşın ASPX sisteminde CPU kullanımı zaman zaman %100'e yaklaşarak yüksek işlem yüküne işaret etmiş, RAM kullanımı ise sık dalgalanmalar göstermiştir. Bu durum, ASPX mimarisinin kaynak kullanımında daha dengesiz olduğunu, bu doğrultuda yüksek kullanıcı yüklerinde kararlılığını yitirme riskinin arttığını sergilemektedir. MVC mimarisi ise hem işlemci hem de bellek yönetiminde daha öngörülebilir ve kontrollü bir yapı sergilemiştir.

Görsel 2. MVC ve ASPX Sistemlerinde Yanıt Süresi Dağılımı

Bu grafik, farklı kullanıcı seviyelerinde MVC ve ASPX sistemlerinin ortalama, en hızlı, en yavaş yanıt süreleri ile standart sapma değerlerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. ASPX sisteminde, özellikle 1000 kullanıcı seviyesinde yanıt süresinin ve standart sapmanın ciddi şekilde arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum, ASPX sisteminin yoğun yük altında performans kararlılığını kaybettiğini ve yanıt süresinin tahmin edilebilirliğini yitirdiğini sergilemektedir. MVC mimarisi ise daha düşük standart sapmalarla daha tutarlı yanıt süreleri üretmiş, sistem güvenilirliğini korumuştur. En hızlı ve en yavaş yanıtlar arasındaki farkın daha az olması, MVC'nin gecikmeleri dengeleyerek daha eşit dağılmış performans sunduğunu ortaya koymaktadır.

Görsel 3. MVC ve ASPX Sistemlerinde Alınan ve Gönderilen Veri Miktarları (KB/sn)

Bu grafik, farklı kullanıcı sayıları altında MVC ve ASPX sistemlerinin aldığı ve gönderdiği veri miktarlarını karşılaştırmaktadır. ASPX sisteminde alınan ve gönderilen veri miktarları, tüm kullanıcı düzeylerinde MVC'ye kıyasla çok daha yüksektir. Örneğin 100 kullanıcı seviyesinde ASPX 1700 KB/sn veri alırken, MVC yaklaşık 250 KB/sn ile aynı işlemi gerçekleştirebilmiştir. Bu fark; ASPX sisteminin ViewState ve form tabanlı veri taşıma özelliklerinin yüksek bant genişliği kullanımına yol açtığını sergilemektedir. MVC sistemi ise daha düşük veri iletimine rağmen aynı işlevselliği sağlayarak ağ kaynaklarını daha verimli kullanmıştır.

Bu üç grafikle birlikte, önceki çizelgeleri de destekleyen şekilde, MVC mimarisi performans açısından çok boyutlu bir üstünlük sergilemektedir. Özellikle sistem kaynaklarının kullanımı (CPU ve RAM), ağ trafiği verimliliği ve kullanıcı başına düşen işlem kararlılığı gibi alanlarda sağladığı avantajlar, MVC mimarisinin daha modern ve optimize edilmiş bir yapı olduğunu sergilemektedir. ASPX mimarisi ise geleneksel yöntemlerin etkisiyle hem işlem hem de bellek yönetiminde daha az verimli sonuçlar vermektedir. Bu durum, özellikle yüksek kullanıcı sayısına sahip sistemlerde performans dar boğazlarına neden olabilir. MVC mimarisi, yük altında bile sabit kalan işlemci kullanımı, düşük bellek tüketimi, hızlı ve öngörülebilir yanıt süreleri ile geniş çaplı web uygulamaları için daha uygun bir seçenek olduğunu ortaya koymaktadır. Sistem kararlılığı ve düşük gecikme gerektiren uygulamalar için bu mimari önemli avantajlar sağlamaktadır. Özellikle eğitim, sağlık ve e-ticaret gibi yüksek kullanıcı etkileşimi gerektiren alanlarda sistemin tutarlı performans sunabilmesi büyük önem taşımaktadır. MVC mimarisi, sadece anlık yükleri karşılamakla kalmayıp aynı zamanda uzun süreli kullanım senaryolarında da sistem kaynaklarını etkin biçimde yönetebildiğini kanıtlamıştır. Bunun yanı sıra geliştirici açısından bakım kolaylığı, test edilebilirlik ve modüler yapı gibi yazılım geliştirme süreçlerine katkı sağlayan avantajları da göz ardı edilmemelidir. Sonuç olarak, hem son kullanıcı deneyimi hem de sistem yöneticileri açısından MVC mimarisi, ASPX'e göre daha sürdürülebilir ve modern bir çözüm olarak öne çıkmaktadır.

4. ÇİZELGE VE GÖRSELLER

Çizelge 1. Test Süreleri, Toplam İşlem ve Ortalama Süre

Test Kişi	Başlama Zamanı (MVC)	Başlama Zamanı (ASPX)	Bitiş Zamanı (MVC)	Bitiş Zamanı (ASPX)	Toplam Süre (MVC)	Toplam Süre (ASPX)	Toplam İşlem (MVC)	Toplam İşlem (ASPX)	Ortalama Süre (MVC)	Ortalama Süre (ASPX)
1	00:00:47	00:01:48	00:01:00	00:01:49	00:13,000	00:01,000	122	37	00:00,107	00:00,027
100	00:01:58	00:02:27	00:02:32	00:02:56	00:34,000	00:29,000	12200	3700	00:00,003	00:00,008
500	00:03:09	00:03:30	00:07:42	00:08:25	04:33,000	04:55,000	61000	18500	00:00,004	00:00,016
1000	00:08:21	00:09:17	00:24:20	00:33:08	15:59,000	23:51,000	122000	37000	00:00,008	00:00,039

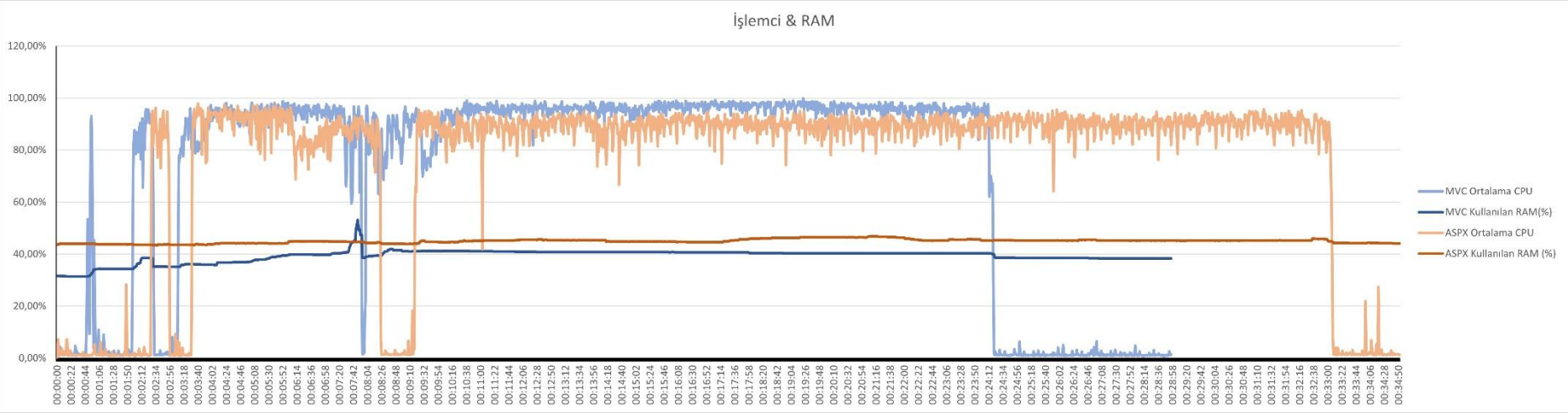
Çizelge 2. Yanıt Süresi ve Hata Oranı Verileri

Test Kişi	Ortalama Yanıt Süresi (MVC)	Ortalama Yanıt Süresi (ASPX)	En Hızlı Yanıt (MVC)	En Hızlı Yanıt (ASPX)	En Yavaş Yanıt (MVC)	En Yavaş Yanıt (ASPX)	Std. Sapma (MVC)	Std. Sapma (ASPX)	Hata % (MVC)	Hata % (ASPX)
1	18	20	11	14	31	38	6,08	6,05	0,00%	0,00%
100	1092	1070	388	281	1736	1564	198,76	214,13	0,00%	0,00%
500	10440	11968	3937	1599	14261	16913	1491,3	2944,78	0,00%	0,00%
1000	39627	62050	8183	3097	46002	86838	4001,54	11014,55	0,00%	0,00%

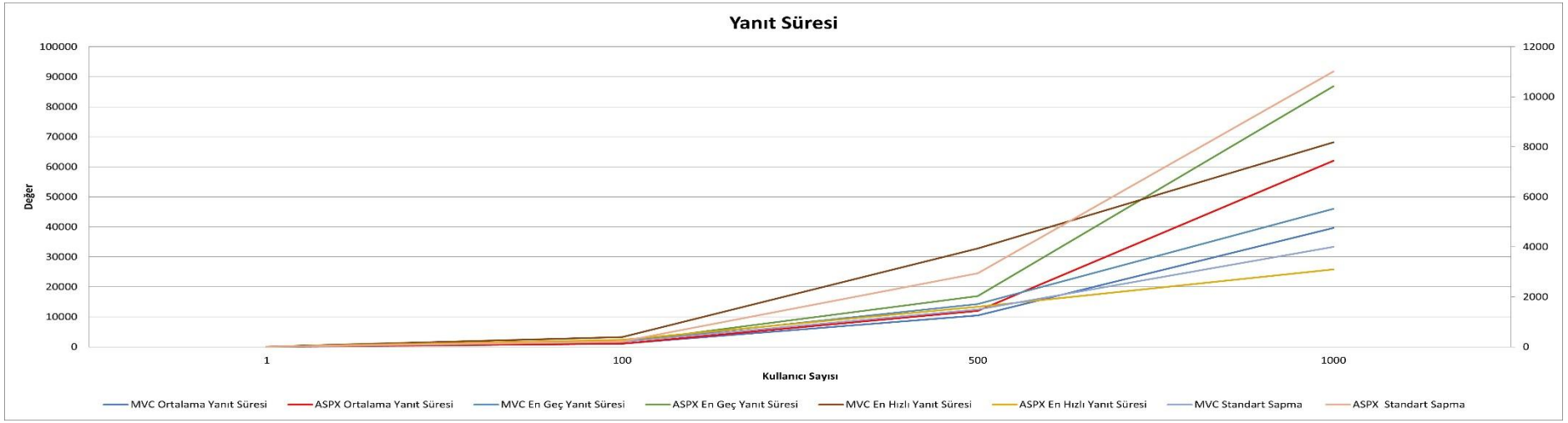
Çizelge 3. Veri Miktarı Verileri

Test Kişi	Alınan Veri KB/sn (MVC)	Alınan Veri KB/sn (ASPX)	Gönderilen Veri KB/sn (MVC)	Gönderilen Veri KB/sn (ASPX)	Ortalama Veri Bayt (MVC)	Ortalama Veri Bayt (ASPX)
1	161,24	1007,73	14,83	337,86	4061,7	23682,5
100	266,82	1749,85	24,31	606,57	4100,1	23748,3
500	157,27	823,59	14,28	286,63	4114,7	23767
1000	89,39	334,42	6,26	116,59	4130,7	23788,4

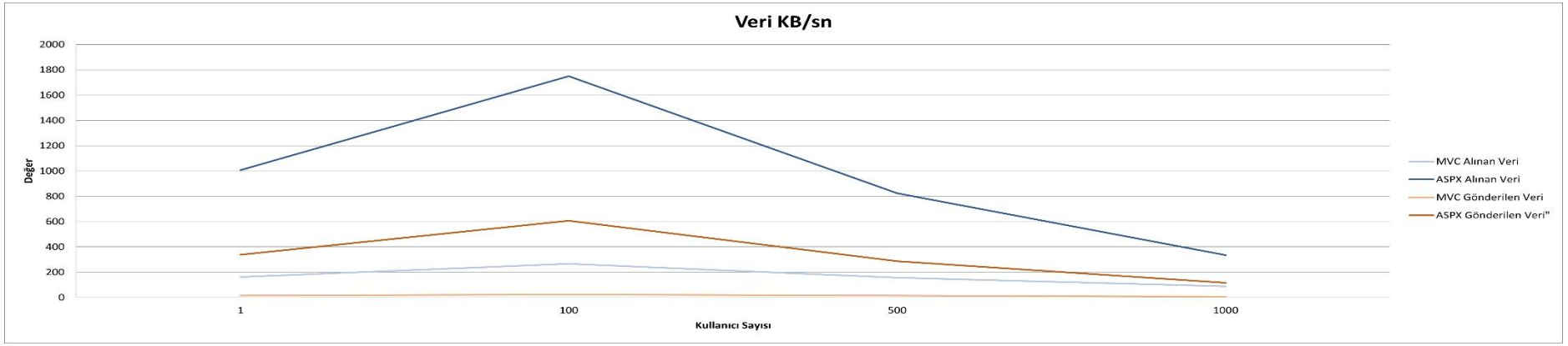
Görsel 1. MVC ve ASPX Sistemlerinin CPU ve RAM Kullanımı (Zaman Bazlı)



Görsel 2. MVC ve ASPX Sistemlerinde Yanıt Süresi Dağılımı



Görsel 3. MVC ve ASPX Sistemlerinde Alınan ve Gönderilen Veri Miktarları (KB/sn)



5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, ASP.NET teknolojisine dayalı iki farklı sistem mimarisi olan Web Forms (ASPX) ve Model-View-Controller (MVC), aynı fiziksel sunucu ortamında karşılaştırmalı performans analizine tabi tutulmuştur. Gerçekleştirilen testlerde, yalnızca öğrenci cevaplama sayfası hedeflenmiş ve sistemler, farklı kullanıcı yükleri altında (1, 100, 500 ve 1000 sanal kullanıcı) ölçülmüştür. Ölçüm kriterleri arasında işlem süresi, yanıt süresi, hata oranı, işlem hacmi, veri aktarım miktarları, standart sapma ve kaynak tüketimi (CPU ve RAM kullanımı) yer almıştır.

Elde edilen bulgular, genel anlamda MVC mimarisinin yüksek yük altında daha kararlı, ölçeklenebilir ve verimli bir yapı sunduğunu ortaya koymaktadır. Ortalama yanıt süresi, MVC'de ASPX'e göre tüm kullanıcı seviyelerinde daha düşük ölçülmüş; 1000 kullanıcı yükünde bu fark 20 saniyeye kadar çıkmıştır (Bkz. Görsel 1). MVC sistemi ayrıca daha düşük standart sapma değerleriyle performans tutarlılığını da korumuş, böylece kullanıcı deneyimi açısından daha öngörülebilir bir yapı sergilemiştir.

Veri aktarım miktarları açısından ASPX sistemi, hem alınan hem gönderilen veri boyutlarında MVC'ye göre ciddi farklar göstermiştir (Bkz. Görsel 2). ASPX'in taşıdığı veri miktarının yaklaşık beş kat fazla olması, sistemin daha fazla kaynak tükettiğini ve ağ trafiğinde yoğunluk oluşturduğunu sergilemektedir. Bu durum, ASPX'in state-management, viewstate ve form verisi işleme mekanizmalarının performansa olumsuz etkide bulunduğuna işaret etmektedir.

Saniyede işlenebilen işlem sayısı (throughput) verileri incelendiğinde, ASPX mimarisi düşük kullanıcı yüklerinde avantajlı görünse de bu avantaj 500 kullanıcıdan sonra kaybolmuş, 1000 kullanıcı seviyesinde MVC sistemi öne geçmiştir. Toplam işlem sayısı ve işlem süreleri de MVC'nin aynı sürede daha fazla işlem gerçekleştirdiğini ve işlem süresi başına daha fazla çıktı ürettiğini ortaya koymaktadır.

Kaynak tüketimi analizlerinde, ASPX sisteminin CPU kullanımında %90-100 arasında dalgalanan yüksek bir yoğunluk sergilediği; buna karşın MVC sisteminde CPU kullanımının daha dengeli ve kontrollü seyrettiği belirlenmiştir. RAM kullanımı açısından ise her iki sistemin benzer seviyelerde kaynak tükettiği, ancak MVC'nin daha stabil bir grafik sunduğu gözlemlenmiştir (Bkz. Görsel 3).

Son olarak, zaman bazlı işlem yoğunluğu grafiklerinde MVC sisteminin daha düzenli ve yüksek hacimli işlem kümeleri üretirken, ASPX tarafında düzensiz dalgalanmalar ve zaman zaman işlem üretiminin duraksadığı görülmüştür. Bu durum, MVC mimarisinin eş zamanlı işlem yönetiminde daha başarılı olduğunu desteklemektedir.

Tüm bu bulgular ışığında, özellikle yüksek eş zamanlı kullanıcı trafiğinin ve düşük gecikme süresinin kritik olduğu web tabanlı sınav sistemleri gibi uygulamalarda, MVC mimarisi performans, kaynak verimliliği ve tutarlılık açısından daha uygun bir tercih olarak öne çıkmaktadır. ASPX yapısı ise küçük ölçekli, düşük kullanıcı trafiği altında çalışan sistemler için yeterli performans sağlayabilirken, büyük ölçekli uygulamalarda performans darboğazları oluşturma riski taşımaktadır.

Bu çalışma, MVC mimarisinin çevrim içi sınav sistemleri gibi çok kullanıcılı ortamlarda daha verimli ve dayanıklı bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır. Performans testleri, yazılım mimarisinin sistem performansı üzerinde çok belirgin bir etkisi olduğunu göstermiştir. MVC mimarisi yalnızca daha hızlı tepki süresi değil, aynı zamanda daha kararlı sistem kaynak yönetimi de sunmaktadır. Gelecekte, benzer sistemlerde farklı ORM (Object-Relational Mapping) yaklaşımları, mikro hizmet tabanlı mimariler veya önbellekleme stratejilerinin entegre edilmesiyle daha da ileri düzey optimizasyonlar sağlanabilir.

KAYNAKÇA

(Tez Örneği)

1. Andersson, M. (2023). The Importance of Web Application Architecture: Understanding Factors Influencing Decision-Making and Identifying Potential Improvements for Effective Web Development (Bachelor’s thesis). Karlstad University.

(Makale Örneği)

2. Meijer, W., Trubiani, C., & Aleti, A. (2024). Experimental evaluation of architectural software performance design patterns in microservices. Journal of Systems and Software.
3. Alnuhait, H., Alzyadat, W., Althunibat, A., et al. (2024). Web application performance assessment: A study of responsiveness, throughput, and scalability. International Journal of Advanced and Applied Sciences, 11(9), 214–226.
4. Soldani, J., Tamburri, D. A., & Van den Heuvel, W.-J. (2018). The pains and gains of microservices: A systematic grey literature review. Journal of Systems and Software, 146, 215–232.
5. Savić, D., Vučetić, S., & Milić, P. (2023). Comparative analysis of performance of open source databases in web application development. Scientific Publications of the State

University of Novi Pazar - Series A: Applied Mathematics, Informatics and Mechanics, 15(2), 121–130.
6. Ahamad, S. (2020). Study on web services architectural operations and performance. International Journal of Scientific Research in Computer Science and Engineering, 8(4), 1–13.

(Yalnızca İnternet Ortamında Yer Alan Kaynaklar)
7. Microsoft. (2024). ASP.NET MVC Documentation. https://learn.microsoft.com/aspnet/mvc (Erişim tarihi: 06.06.2025)
8. Apache JMeter. (2024). Performance Testing Tool. https://jmeter.apache.org/ (Erişim tarihi: 06.06.2025)
9. OpenAI. (2023). GPT-4 Technical Report. https://openai.com/research/gpt-4

IMPACT OF PSEUDOMONAS ISOLATES FROM SOUTHERN REGIONS OF KAZAKHSTAN ON THE BIOLOGICAL GROWTH OF TOMATO PLANTS

Zhamila Baimirzayeva
M.Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan
zhamilya_1110@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-4006-4105
Karlygash Korazbekova
Zhanibekov University, Shymkent, Kazakhstan
korazbekova.karlygash@okmpu.kz, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4365-5317
Zehra Nur Yüksekdağ
Gazi University, Ankara, Turkey
zehranur@gazi.edu.tr, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0381-5876

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum L.*) is one of the most important vegetable crops cultivated in Kazakhstan. The use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), particularly *Pseudomonas* spp., offers an eco-friendly approach to enhance plant growth and productivity. This study investigates the effect of *Pseudomonas* isolates, obtained from the southern regions of Kazakhstan, on the biological growth of tomato plants under controlled conditions. A total of four *Pseudomonas* strains were isolated from greenhouse soil. To evaluate their effects on plant growth, tomato seeds were inoculated with *Pseudomonas* suspensions at concentrations of 10^4, 10^6, and 10^8 CFU/mL and incubated on Kovrovtsev's medium at 30°C for 14 days. The most pronounced root elongation and the highest seed germination rate were recorded at concentrations of 1×10^6 and 1×10^8 CFU/mL, respectively. These findings indicate that these bacterial densities may represent optimal thresholds for promoting plant growth. Although all tested concentrations showed a positive relationship with plant growth parameters, the intensity of the response varied depending on the concentration applied. The data were statistically analyzed using both correlation and regression analyses to determine the strength and nature of the relationships between bacterial inoculation and plant growth indicators. These results underscore the promising role of *Pseudomonas* isolates as bioinoculants in promoting sustainable tomato cultivation under greenhouse conditions. They

provide an environmentally friendly substitute for conventional chemical fertilizers and synthetic growth enhancers to the agroecological conditions of southern Kazakhstan, contributing to sustainable agriculture practices.

Keywords: *Pseudomonas*, tomato (*Solanum lycopersicum*), plant growth promotion, bioinoculants

1. INTRODUCTION

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most economically important crops in greenhouse horticulture worldwide due to its high nutritional value and market demand [1-2]. Rich in antioxidants such as lycopene, tomatoes contribute significantly to human health and are widely cultivated under protected conditions to enhance quality and productivity [2-3]. Globally, greenhouse cultivation of tomatoes spans over 1.6 million hectares, with Asia and Europe leading in terms of production area. Countries like China, the Netherlands, and India are at the forefront of this industry due to advancements in greenhouse technologies and cultivation practices [4-5].

While greenhouse tomato cultivation offers advantages such as extended growing seasons and protection from environmental stressors, it also presents specific agronomic challenges [6-8]. Recent research highlights the benefits of biological approaches, particularly the use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR), in improving yield and plant health [9-11]. Among these, *Pseudomonas* species have gained attention for their multifaceted roles in enhancing nutrient uptake, suppressing phytopathogens, and promoting overall plant growth through the production of phytohormones and other bioactive compounds [12-15].

In this study, we investigated the plant growth-promoting potential of *Pseudomonas* isolates obtained from greenhouse soils in Kazakhstan. The objective was to assess their impact on tomato (*S. lycopersicum*) growth parameters, including stem height, root length, and germination rates. Additionally, we analyzed the correlation between isolate concentration and plant response to better understand the dose-dependent effects of these rhizobacteria in greenhouse tomato cultivation.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study area: The isolation of *Pseudomonas* spp. from greenhouse soil samples and subsequent laboratory experiments were carried out at the Laboratory of Food Microbiology, Research and Production Center for Microbiology and Virology, located in Almaty, Kazakhstan. All experimental procedures were conducted over a twelve-month period, from January to December 2024.

2.2. Soil samples: Two distinct soil samples were collected for the experiment: one from inside the greenhouse (Sample No. 1) and another from outside the greenhouse, in close proximity to its perimeter (Sample No. 2). Both sampling sites were located in the Turkestan region of Kazakhstan.

2.3. Isolation of Pseudomonas: Bacterial isolation from soil samples was carried out in accordance with ISO standard [16]. Initially, soil samples were cleaned of stones and other solid debris to facilitate the extraction of microorganisms. The cleaned samples were then ground in a sterile porcelain mortar, and aliquots were collected for suspension preparation. The processed material was transferred into sterile flasks, and tap water was added at a 1:9 ratio (soil:water). The resulting suspension was shaken for 15 minutes and then allowed to settle for 2–3 minutes.

The primary objective of this pre-treatment was to detach microbial cells from soil aggregates by disrupting soil structure and desorbing microorganisms from particle surfaces. Serial tenfold dilutions of the supernatant were prepared, and 0.1 mL of each dilution was inoculated onto sterile nutrient agar plates. The inoculated Petri dishes were incubated at 37°C for 48 hours in a standard incubator (Model Binder BD 115, Germany).

2.4. Pseudomonas isolates: Microorganisms belonging to the genus *Pseudomonas* were selectively isolated using Pseudomonas Agar (for fluorescein), following the methodology described by Lamichhane and Varvaro [17]. A total of four *Pseudomonas* isolates were obtained. Two isolates (P 1-1 and P 1-2) were derived from the soil sample collected inside the greenhouse (Sample No. 1), while the remaining two (P 1-3 and P 1-4) were isolated from the soil collected outside the greenhouse (Sample No. 2).

2.5. Experimental Design for Plant Growth Assay: The impact of *Pseudomonas* isolates on the early growth of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum*) was evaluated following the methodology of Smirnova and Sadanov [18]. The bacterial isolates (P 1-1, P 1-2, P 1-3, and P 1-4) were cultivated on meat peptone agar (MPA; TM MEDIA, India) under aerobic and sterile

conditions at 30°C for 48 hours. From these cultures, working cell suspensions were prepared at three concentrations: 10^4 CFU/mL, 10^6 CFU/mL, and 10^8 CFU/mL.

A batch of 45 tomato seeds was used for each isolate concentration. The seeds were surface-sterilized and then inoculated by immersion in the respective *Pseudomonas* suspension for 3 minutes. Following inoculation, seeds were transferred to Petri dishes containing Kovrovtsev's nutrient medium. Cultivation was performed in triplicate (15 seeds per dish) at 30°C for 14 days under controlled conditions.

2.6. Culture Media: Three types of nutrient media were utilized throughout the experiment.

1) Pseudomonas Agar (for fluorescein) (Titan Biotech, India) was employed for the detection of fluorescein production by *Pseudomonas* spp. The composition per liter was as follows: agar – 15.0 g, casein enzymatic hydrolysate – 10.0 g, proteose peptone – 10.0 g, dipotassium phosphate (K_2HPO_4) – 1.5 g, magnesium sulfate ($MgSO_4$) – 1.5 g, with distilled water up to 1 L, pH 7.0 ± 0.2. After autoclaving, 10 mL of glycerin was aseptically added to the medium.

2) Meat Peptone Agar (MPA) (TM MEDIA, India) was used to cultivate *Pseudomonas* isolates under sterile aerobic conditions. The formulation per liter was: meat extract – 10 mL, peptone A (peptic digest of animal tissue) – 10.0 g, sodium chloride – 5.0 g, agar – 20.0 g, with water to 1 L, pH 7.5 ± 0.2.

3) Kovrovtsev's Medium was used for the cultivation of tomato seeds. The composition per liter included: agar – 6.0 g, dipotassium phosphate (K_2HPO_4) – 1.0 g, magnesium sulfate heptahydrate ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) – 1.0 g, calcium hydrogen phosphate (Ca_2HPO_4) – 0.2 g, iron(II) sulfate heptahydrate ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) – trace amounts, with distilled water up to 1 L, pH 7.0 ± 0.2.

All media were sterilized by autoclaving at 121°C for 15 minutes. After sterilization, media were cooled to 45–50°C and poured into sterile Petri dishes at a volume of 30 mL per dish.

2.7. Data analysis: Statistical analyses were conducted using Microsoft Excel software. Correlation and regression analyses were applied to evaluate the effects of *Pseudomonas* isolates on tomato plant growth parameters. All analyses were performed at a 95% confidence level ($P > 0.05$). Regression modeling was used to predict changes in plant development indicators—such as stem height, root length, and germination rate—in response to varying concentrations of bacterial suspensions. This approach allowed for the assessment of dose-dependent effects of the isolates on plant growth.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) inoculated with *Pseudomonas* isolates were grown under controlled laboratory conditions to evaluate the effect of bacterial treatments on germination, survival, stem height, and root length. Germination was first observed after 7 days, and cultivation continued for 15 days. Notably, after 10 days, over 30% of the control plants died, with wilting symptoms observed in the majority of surviving plants, indicating possible environmental stress or lack of microbial support.

Germination and Survival. Table 1 summarizes the germination and survival rates across experimental variants. The control group showed a germination rate of 71% and survival rate of 72%. Among treatments, isolate P1-1 at 1×10^6 CFU/mL demonstrated enhanced germination (86.6%) and acceptable survival (79%), while isolate P1-2 at 1×10^8 CFU/mL provided the highest survival rate (92%).

Table 1. Effect of *Pseudomonas* isolates on tomato growth over 15 days

Isolate	Treatment	Germination		Survival		Growth parameters*	
		pieces (out of 45)	%	Number of plants	%	Stem height, *mm*	Root length, *mm*
Control		32	71.0	23	72	32.6±1.6	13.4±1.0
P 1-1	$1x10^4$	38	84.0	31	82	32.0±1.1	13.0±0.9
	$1x10^6$	39	86.6	31	79	33.4±1.4	11.9±0.8
	$1x10^8$	33	73.3	20	61	30.6±1.1	11.1±0.7
P 1-2	$1x10^4$	34	75.5	31	91	32.6±1.5	14.5±0.8
	$1x10^6$	35	78.0	28	80	34.4±1.6	20.8±1.4
	$1x10^8$	38	84.0	35	92	33.8±1.4	16.5±1.0
P 1-3	$1x10^4$	31	69.0	28	90	27.8±1.7	13.9±1.0
	$1x10^6$	35	78.0	34	97	33.3±1.7	16.5±1.0
	$1x10^8$	40	89.0	37	93	31.2±1.7	17.9±1.2
P 1-4	$1x10^4$	30	66.6	27	90	36.2±1.6	12.8±0.9
	$1x10^6$	27	60.0	14	52	28.7±1.4	13.5±0.9
	$1x10^8$	38	84.0	32	84	35.9±1.7	13.3±0.7

* Mean ± standard deviation

For isolate P1-3, increasing concentrations improved both germination (up to 89%) and survival (up to 97%). Isolate P1-4, although resulting in the lowest germination rate at 1×10^4 CFU/mL (66.6%), showed the highest maximum stem height (36.2 ± 1.6 mm), indicating possible growth-promoting effects despite lower seed viability.

Stem Height and Root Length. Control plants reached an average stem height of 32.6 ± 1.6 mm and root length of 13.4 ± 1.0 mm. Treatments with *Pseudomonas* isolates showed varied responses: Isolate P1-1 at 1×10^6 CFU/mL increased stem height to 33.4 ± 1.4 mm. Isolate P1-2 at the same concentration resulted in 34.4 ± 1.6 mm. P1-4 at 1×10^4 CFU/mL produced the tallest plants (36.2 ± 1.6 mm), despite low germination. Root length showed stronger improvement across all isolates compared to stem height, particularly with P1-3 at higher concentrations.

Regression graphs (Fig. 1a, 1b) show the relationship between *Pseudomonas* isolate concentrations ($\log_{10}$ scale) and growth parameters. A stronger correlation was observed for root length ($R^2 = 0.6122$) than stem height ($R^2 = 0.4073$), suggesting that *Pseudomonas* spp. exert a more pronounced influence on root development. This is likely due to mechanisms such as phytohormone (e.g., auxin) production, phosphate solubilization, and improved nutrient uptake.

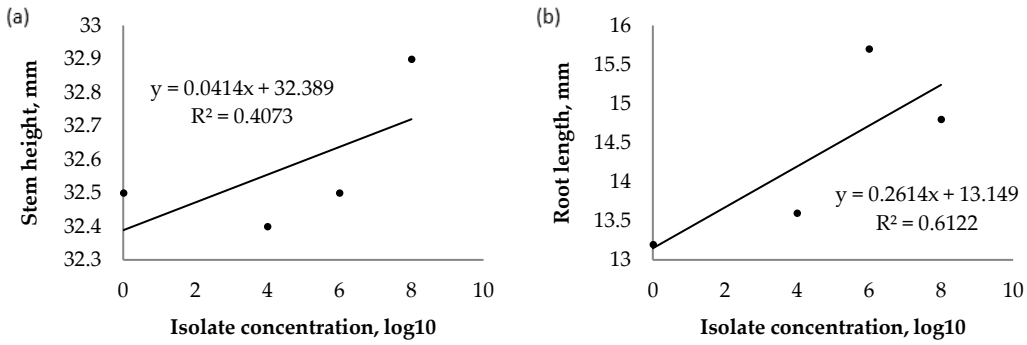


Figure 1 (a-b). Regression trends for growth parameters of *Solanum lycopersicum* L. and isolate concentrations, (a) Stem height, (b) Root length

Summary of Quantitative Effects. According to the data in Table 2: Average stem height varied slightly between 32.4–32.9 mm across treatments. Maximum stem height increased from 50 mm (control) to 60 mm at 1×10^6 CFU/mL. Root length showed more substantial improvements: average root length peaked at 15.7 mm (a 19% increase over control), and maximum root length

reached 60 mm compared to 25 mm in the control. Seed germination was highest (82.2%) at 1×10^8 CFU/mL, indicating a concentration-dependent effect.

Table 2. Average growth parameters of *Solanum lycopersicum* L. depending on isolate concentration

Isolate concentration	Growth parameters*		Germination	
	Stem height, *mm*	Root length, *mm*	pieces (out of 45)	%
control	32.6±1.60	13.4±1.00	32	71.0
$1x10^4$	32.4±2.99	13.6±0.86	33.3±3.59	74.0
$1x10^6$	32.5±2.26	15.7±3.90	34.0±5.03	75.6
$1x10^8$	32.9±2.40	14.8±3.10	37.0±3.61	82.2

* Mean ± standard deviation

Optimal Conditions. Among all treatments, isolate P1-1 at 1×10^6 CFU/mL yielded the most balanced improvement in germination, survival, and plant growth. Higher concentrations (1×10^8 CFU/mL) sometimes led to reduced growth or viability, suggesting potential toxicity or overstimulation effects. Isolate P1-3 also showed strong potential, particularly in enhancing root length and seedling survival.

These findings are consistent with the present study, where *Pseudomonas* isolates significantly influenced early plant development, particularly root elongation and seed germination, suggesting their broad-spectrum effectiveness in enhancing key vegetative parameters of tomato plants [19, 20]. In addition, certain *Pseudomonas* isolates have been shown to enlarge the collar diameter of tomato plants [21], as well as increase both root and shoot biomass in *Lycopersicon esculentum* Mill. [22].

Several studies have highlighted the effectiveness of *Pseudomonas* spp. and other plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in enhancing various agronomic traits in tomato and other crops. Inoculation with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* has been shown to increase dry biomass by 29–83% in tomato, okra, and African spinach compared to untreated controls [23]. In virus-infected tomato plants (*Cucumber mosaic virus*), application of *P. aeruginosa* and

Stenotrophomonas rhizophilia nearly doubled the fruit yield and significantly improved pomological and chemical quality indicators [26].

Foliar application of PGPR, including *Pseudomonas* strains, has also been reported to boost yield, vegetative growth, and mineral content in tomato plants [24]. Specific strains such as *P. fragi* and *P. putida* have demonstrated high efficacy in increasing plant dry weight, root elongation, and fruit production [25, 26]. Moreover, the fluorescent *Pseudomonas* isolate Pf5 has been shown to positively influence tomato plant growth by enhancing shoot and root length, as well as total dry biomass [27].

In addition to promoting vegetative growth, *Pseudomonas* spp. have been reported to enhance the biochemical composition and overall fruit quality of tomato plants. Fruits harvested from *Pseudomonas*-inoculated plants exhibited higher levels of tannins, lycopene, carotenoids, total protein, alkalinity, and phenolic compounds compared to non-inoculated controls [21]. These improvements were accompanied by increased chlorophyll content in leaves and modulation of carbohydrate and antioxidant enzyme activities in both roots and shoots [28].

The growth-promoting effects of *Pseudomonas* isolates are attributed to a range of beneficial mechanisms, including phosphate solubilization, siderophore production, ammonia and indole-3-acetic acid (IAA) synthesis, effective root colonization, nitrogen fixation, potassium solubilization, and production of pyrroloquinoline quinone (PQQ) [21, 28, 29].

Fluorescent *Pseudomonas* strains also exhibit notable biocontrol potential. They possess antagonistic activity against a variety of phytopathogenic fungi such as *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani*, *Phytophthora capsici*, *Fusarium acuminatum*, *Botrytis cinerea*, and *Aspergillus niger*. Moreover, seed treatment with *Pseudomonas fluorescens* 89B-27 and *Serratia marcescens* 90-166 significantly suppressed the development and spread of *Cucumber mosaic virus* (CMV) [30] and *Tomato mosaic virus* (ToMV) [31] in infected tomato plants. The application of fluorescent *Pseudomonas* also proved effective in mitigating leaf spot and leaf speck diseases [26].

Interestingly, the antifungal efficacy of *Pseudomonas* in the rhizosphere appears to be influenced by the composition of tomato root exudates, particularly sugars and organic acids, which may affect microbial colonization and metabolite production [33]. Collectively, these findings underline the dual role of *Pseudomonas* species as both plant growth enhancers and biological

control agents, making them promising candidates for the development of sustainable biofertilizers and integrated pest management strategies in modern agriculture.

CONCLUSION

The results of this study demonstrate the significant potential of *Pseudomonas* species as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) for enhancing the development of *Solanum lycopersicum* L. under greenhouse conditions. The tested isolates positively influenced key early-stage growth parameters, particularly root elongation and seed germination. Optimal outcomes were observed at a concentration of 1×10^{6} CFU/mL for root development and 1×10^{8} CFU/mL for seed germination. These findings suggest that the application of *Pseudomonas*-based inoculants can serve as an effective and sustainable alternative to chemical fungicides, contributing to improved crop productivity and resilience in tomato cultivation.

REFERENCES

1. Shamshiri, R.R., J.W. Jones, K.R. Thorp, D. Ahmad, H.C. Man and S. Taheri, 2018. Review of optimum temperature, humidity, and vapour pressure deficit for microclimate evaluation and control in greenhouse cultivation of tomato: a review. Int. Agrophys, 32: 287-302. https://doi.org/10.1515/intag-2017-0005.

2. Jasmin, B.L., S. Kumar and S. Modi, 2018. Influence of Plant Growth Regulators on Growth and Yield of Greenhouse Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). IJCMAS, 7(8): 1603-1609. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.183.

3. Singh, M., 2019. Performance of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Hybrids under Polyhouse Condition. IJCMAS, 8(5): 597-603. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.805.069.

4. Peet, M.M. and G.W. Welles, 2005. Greenhouse tomato production. In: Tomatoes, Heuvelink, E. (Ed.). CABI Publishing: Wallingford Oxon, UK, pp. 257-304.

5. Suazo-López, F., R. Zepeda-Bautista, F. Castillo, J. Martínez-Hernández, J. Virgen-Vargas, and L. Tijerina-Chávez, 2014. Growth and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as Affected by Hydroponics, Greenhouse and Irrigation Regimes. Ann. Res. Rev. Biol., 4(24): 4246-4258. https://doi.org/10.9734/arrb/2014/11936.

6. Yeshiwas, Y., D. Belew and K. Tolessa, 2016. Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Yield and Fruit Quality Attributes as Affected by Varieties and Growth Conditions. World J. Agric.

Sci., 12(6): 404-408. https://doi.org/10.5829/idosi.wjas.2016.404.408; https://idosi.org/wjas/wjas12(6)16/3.pdf.

7. Gatahi, D.M., 2020. Challenges and opportunities in tomato production chain and sustainable standards. Int.J.Hort.Sci.Technol., 7(3): 235-262. https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.300818.361.

8. Wachira, J.M., P.M. Mshenga and M. Saidi, 2014. Comparison of the Profitability of Small-scale Greenhouse and Open-field Tomato Production Systems in Nakuru-North District, Kenya. Asian J. Agric. Sci., 6(2): 54-61. http://dx.doi.org/10.19026/ajas.6.5303.

9. Maslennikova, V.S., V.P. Tsvetkova, A.V. Pastuhova, A.F. Petrov and M.V. Kondratyev, 2022. Biologization of greenhouse tomato growing technology in conditions of Western Siberia. Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University), 3: 36-43. https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-64-3-36-43.

10. Madreyimova, D.E., 2021. Prospects for the use of stimulator biological preparations in tomato production in the conditions of the Republic of Karakalpakstan. IJRD, 6(12): 177-179. DOI: https://doi.org/10.36713/epra9192.

11. Nikonchuk, N. and M. Samoilenko, 2024. The Influence of Biopreparations on the Growth and Development of Tomatoes under Biological Cultivation. EEET, 25(8): 37-46. https://doi.org/10.12912/27197050/189236.

12. Nordstedt, N.P., L.J. Chapin, C.G. Taylor and M.L. Jones, 2020. Identification of Pseudomonas Spp. That Increase Ornamental Crop Quality During Abiotic Stress. Front. Plant Sci., 10: 1754. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01754.

13. Singh, P., R.K. Singh, Y. Zhou, J. Wang, Y. Jiang, N. Shen, Y. Wang, L. Yang and M. Jiang, 2022. Unlocking the strength of plant growth promoting *Pseudomonas* in improving crop productivity in normal and challenging environments: a review. J. Plant Interac., 17(1): 220-238. DOI: 10.1080/17429145.2022.2029963.

14. Nerek, E. and B. Sokołowska, 2022. *Pseudomonas spp*. in biological plant protection and growth promotion. AIMS Environ. Sci., 9(4): 493-504. doi: 10.3934/environsci.2022029.

15. Catara, V., 2007. *Pseudomonas corrugata*: plant pathogen and/or biological resource? Mol. Plant pathol., 8(3): 233-244. DOI:10.1111/j.1364-3703.2007.00391.x.

16. International Organization for Standardization, 2017. ISO 18400-102:2017(en): Soil quality — Sampling — Part 102: Selection and application of sampling techniques. https://www.iso.org/standard/62843.html.

17. Lamichhane, J.R. and L. Varvaro, 2013. A new medium for the detection of fluorescent pigment production by *Pseudomonads*. Plant Pathol., 62: 624-632. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2012.02670.x.

18. Smirnova, I. and A. Sadanov, 2019. The Biological Method of Increasing Seed Germination and Productivity of Grain Crops. In: Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): Prospects for Sustainable Agriculture, Sayyed, R., M. Reddy and S. Antonius, (Eds.). Springer, Singapore, pp: 47-61. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6790-8_3.

19. Peer, R.V. and B. Schippers, 1989. Plant growth responses to bacterization with selected *Pseudomonas spp.* strains and rhizosphere microbial development in hydroponic cultures. Can. J. Microbiol., 35: 456-463. https://doi.org/10.1139/m89-070.

20. Dashti, N., M.S. Montasser, N. Ali and V.M. Cherian, 2014. Influence of plant growth promoting rhizobacteria on fruit yield, pomological characteristics and chemical contents in cucumber mosaic virus-infected tomato plants. KJS, 41(2): 205-220.

21. Qessaoui, R., R. Bouharroud, J.N. Furze, M.E. Aalaoui, H. Akroud, A. Amarraque, J.V. Vaerenbergh, R. Tahzima, E.H. Mayad and B. Chebli, 2019. Applications of New Rhizobacteria Pseudomonas Isolates in Agroecology via Fundamental Processes Complementing Plant Growth. Sci. Rep., 9: 12832. https://doi.org/10.1038/s41598-019-49216-8.

22. Ahirwar, N.K., G.K. Gupta, V.R. Singh, R.K. Rawlley, and S. Ramana, 2015. Influence on growth and fruit yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plants by inoculation with *Pseudomonas fluorescence* (SS5): Possible role of plant growth promotion. Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci., 4(2): 720-730.

23. Adesemoye, A.O., M. Obini and E.O. Ugoji, 2008. Comparison of plant growth-promotion with *Pseudomonas aeruginosa* and *Bacillus subtilis* in three vegetables. Braz. J. Microbiol., 39: 423-426. DOI:10.1590/S1517-83822008000300003.

24. Dursun, A., M. Ekinci and M.F. Dönmez, 2010. Effects of foliar application of plant growth promoting bacterium on chemical contents, yield and growth of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and cucumber (*Cucumis sativus* L.). Pak. J. Bot., 42: 3349-3356.

25. Riyanti, E.I., D.N. Susilowati, K. Mulya and E. Listanto, 2019. Growth improvement of tomato with the applicatrion of bacterial isolates producing indole acetic acid (IAA) and phosphate solubilizer. Indones. J. Agric. Sci., 20(1): 35-42. https://repository.pertanian.go.id/handle/123456789/10517.

26. Dawoud M.E.A., Z.K. Mahmoud, H.E. Ahmed and M.G. Farahat, 2012. Growth promotion and biocontrol of leaf spot and leaf speck diseases in tomato by *Pseudomonas spp.* Egypt. J. Exp. Biol. (Bot.), 8(1): 67-76. URL: https://www.bibliomed.org/?mno=186700.

27. Saravanan, S.S., P. Muthumanickam, T. Saravanan and K. Santhaguru, 2013. Antagonistic potential of fluorescent *Pseudomonas* and its impact on growth of tomato challenged with phytopathogens. Afr. Crop Sci. J., 21(1): 29-36. URL: https://www.ajol.info/index.php/acsj/article/view/86106.

28. Issifu, M., L.H. Naitchede, E.M. Ateka, J.M. Onguso and V.W. Ngumi, 2023. Synergistic effects of substrate inoculation with Pseudomonas strains on tomato phenology, yield, and selected human health-related phytochemical compounds. AGE, 6: e20435. https://doi.org/10.1002/agg2.20435.

29. Choi, O., J. Kim, J. Kim, Y. Jeong, J.S. Moon; C. Park and I. Hwang, 2007. Pyrroloquinoline Quinone Is a Plant Growth Promotion Factor Produced by *Pseudomonas fluorescens* B161. Plant Physiol., 146: 323-324. https://doi.org/10.1104/pp.107.112748.

30. Raupach, G.S., L. Liu, J.F. Murphy, S. Tuzun and J.W. Kloepper, 1996. Induced systemic resistance in cucumber and tomato against cucumber mosaic cucumovirus using plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Plant Dis., 80: 891-894. https://doi.org/10.1094/PD-80-0891.

31. Megahed, A.A., Kh.A. El-Dougdoug, B.A. Othman, S.M. Lashin, M.A. Ibrahim and A.R. Sofy, 2013. Induction of Resistance in Tomato Plants Against *Tomato mosaic tobamovirus* Using Beneficial Microbial Isolates. Pak. J. Biol. Sci., 16: 385-390. DOI: 10.3923/pjbs.2013.385.390.

32. Dorjey, S., V. Gupta, V.K. Razdan and R. Sharma, 2016. Evaluation of Pseudomonas fluorescens Isolates for their Bio-control Potential against Soil Borne Disease of Tomato. J Pure Appl Microbiol., 10(4): 3079–3085. https://doi.org/10.22207/jpam.10.4.81.

33. Kravchenko, L.V., T. Azarova, E.I. Leonova-Erko, A.I. Shaposhnikov, N.M. Makarova and I.A. Tikhonovich, 2003. Tomato root exudates and their effect on the growth and antifungal activity of *Pseudomonas* strains. Microbiology, 72: 37-41. https://doi.org/10.1023/A:1022269821379.

Azospirillum spp. as PLANT GROWTH-PROMOTING RHIZOBACTERIA: A REVIEW ON THEIR APPLICATION IN CUCUMBER AND TOMATO CULTIVATION

Karlygash Korazbekova

Zhanibekov University, Shymkent, Kazakhstan

korazbekova.karlygash@okmpu.kz, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-4365-5317

Zhamila Baimirzayeva

M.Auezov South Kazakhstan Research University, Shymkent, Kazakhstan

zhamilya_1110@mail.ru, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-4006-4105

Zehra Nur Yüksekdağ

Gazi University, Ankara, Turkey

zehranur@gazi.edu.tr, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0381-5876

ABSTRACT

Azospirillum species are well-recognized plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) that contribute significantly to sustainable agriculture by enhancing nutrient availability and stimulating plant development. This review summarizes current knowledge on the application of *Azospirillum* bacteria in cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation, emphasizing their mechanisms of action, benefits, and potential agricultural applications. *Azospirillum* promotes plant growth primarily through biological nitrogen fixation, production of phytohormones such as indole-3-acetic acid (IAA), and improvement of root architecture, leading to better nutrient and water uptake. The review highlights various studies demonstrating positive effects of *Azospirillum* inoculation on germination rates, seedling vigor, plant biomass, yield, and stress tolerance in both cucumber and tomato crops. Additionally, the potential of *Azospirillum*-based biofertilizers to reduce chemical fertilizer inputs and mitigate environmental impacts is discussed. Challenges related to formulation, field application, and strain specificity are also addressed.Despite promising results, further research is needed to optimize inoculation techniques, evaluate long-term effects on soil microbiomes, and understand plant-microbe interactions under diverse agroecological conditions. This comprehensive overview aims to support the development of effective *Azospirillum*-based bioinoculants, contributing to sustainable vegetable production and improved food security.

Keywords: Azospirillum, cucumber (*Cucumis sativus*), tomato (Solanum lycopersicum), plant growth promotion

1. INTRODUCTION

Azospirillum is a genus of plant growth-promoting rhizobacteria that can enhance crop yields by improving root development, increasing water and mineral uptake, and fixing nitrogen [1-4]. Azospirillum has gained significant attention as a non-symbiotic nitrogen-fixing bacterium, largely owing to its strong and consistent effects on root growth across many plant types [5]. These bacteria primarily colonize plant root surfaces through a two-step attachment process involving the polar flagellum and surface polysaccharides [2]. Azospirillum improves crop productivity by fixing nitrogen from the atmosphere and stimulating root growth [4; 6]. The bacteria form beneficial relationships with plants through adsorption and adherence, reducing disease susceptibility and producing phytohormones [4]. Azospirillum bacteria provide benefits to plants beyond just nitrogen fixation, including increased tolerance to biotic and abiotic stresses [7].

Azospirillum bacteria can promote crop yields in different soils and climatic regions [8]. Azospirillum strains are used as biofertilizers and biocontrol agents in organic farming, especially in developing countries [9].

Azospirillum is widely used as commercial inoculants, contributing to improved crop yields and economic impact in agriculture [4]. *Azospirillum* bacteria can promote crop yields, but successful inoculation requires attention to optimal cell numbers and application methods [8]. *Azospirillum* inoculation benefits plants by fixing atmospheric nitrogen and synthesizing phytohormones, particularly indole-3-acetic acid [7]. *Azospirillum*, a nitrogen-fixing bacterium, can be used as a biofertilizer to improve yields of non-leguminous crops [10].

This review summarizes current knowledge on the application of *Azospirillum* bacteria in cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivation, emphasizing their mechanisms of action, benefits, and potential agricultural applications.

2. TAXONOMY OF *AZOSPIRILLUM*

The genus *Azospirillum*, belonging to the α-Proteobacteria, is a significant group of plant growth-promoting bacteria [11]. Phylogenetically, members of *Azospirillum* can be grouped into several distinct clusters based on 16S rRNA gene sequencing, multilocus sequence analysis (MLSA), and whole-genome comparisons [2] (Figure 1). Initially described as two species, *A. lipoferum* and *A. brasilense*, based on DNA homology and physiological characteristics [12], the genus has since expanded to include multiple species. Phylogenetic analysis using 16S rDNA sequencing confirms *Azospirillum* as a distinct entity within α-Proteobacteria, with *A. brasilense* and *A. lipoferum* forming one cluster, and *A. amazonense* and *A. irakense* forming another [13]. *Azospirillum* species are widespread in tropical, subtropical, and temperate regions, primarily associated with plant roots and soil [11]. A new nitrogen-fixing *Azospirillum* species, *Azospirillum doebereinerae*, was isolated from the roots of the C4-grass Miscanthus. It has closest phylogenetic neighbors in

Azospirillum lipoferum, *Azospirillum largimobile*, and *Azospirillum brasilense*. Nitrogen fixation by this species occurs in microaerobic nitrogen-limited conditions [14]. A novel *Azospirillum species*, *Azospirillum rugosum*, was isolated from oil-contaminated soil. The isolate was identified as belonging to the genus *Azospirillum*, with closest relatives being *A. canadense*, *A. brasilense*, and *A. doebereinerae* [15].

A. brasilense group species are commonly found in association with cereals and grasses and are the most extensively studied due to their strong plant growth-promoting capabilities, such as nitrogen fixation and phytohormone production [8]. They promote plant growth through various mechanisms, including biological nitrogen fixation, hormone production, and phosphate solubilization [11]. The genus has been extensively studied for its potential as a biofertilizer and its interactions with beneficial soil microorganisms [10].

Pseudomonadota (Proteobacteria)
└── *Alphaproteobacteria (α)*
└── Order: *Rhodospirillales*
└── Family: *Azospirillaceae*
└── Genus: *Azospirillum*
├── Cluster I: *A. brasilense* group (*A. brasilense*, *A. lipoferum*, *A. oryzae*, *A. melinis*, *A. doebereinerae*)
├── Cluster II: *A. halopraeferens* group (*A. halopraeferens*, *A. İrakense)*
├── Cluster III: *A. amazonense* group (*A. amazonense*, *A. Humicireducens)*
└── Cluster IV: Extremophiles (e.g., *A. thiophilum*)

Figure 1. Major Clusters of *Azospirillum* (within α-Proteobacteria)

3. PLANT GROWTH PROMOTION

Azospirillum is recognized for its root-growth promotion across a broad range of plant species [5]. *Azospirillum*'s plant growth promotion is attributed to multiple mechanisms, including nitrogen fixation and phytohormone production, particularly indole-3-acetic acid (IAA) [16]. The bacteria possess at least three IAA biosynthesis pathways, with the indole-3-pyruvate decarboxylase gene (ipdC) playing a crucial role. Multiple pathways for indole-3-acetic acid (IAA) biosynthesis exist in *A. brasilense*, including Trp-dependent and Trp-independent pathways [2].

Azospirillum is an efficient alternative to biological nitrogen fixation in grasses, improving productivity and reducing nitrogen fertilizer use. It reduces the need for nitrogen fertilizer and protects against plant pathogens through the production of siderophores, chitinases, glucanases, and antibiosis [6]. Azospirillum has a higher nitrogen fixing potential in non-legumes through the formation of para-nodules. The bacterium can exist freely or in symbiosis, converting atmospheric nitrogen into a form usable by plants. Azospirillum inoculation results in significant yield increases in non-leguminous crops, with potential for future practical applications [10].

3.1. Nitrogen-Fixing Mechanisms of Azospirillum

The genus *Azospirillum* is renowned for its ability to fix atmospheric nitrogen (N_2), thereby contributing to plant nitrogen nutrition, especially in nitrogen-deficient soils. *Azospirillum* species are classified as associative or free-living diazotrophs, meaning they fix nitrogen in the rhizosphere or as endophytes without forming root nodules, unlike Rhizobium [8]. The nitrogenase enzyme complex, responsible for N_2 fixation, is encoded by the *nif* gene cluster (*nifHDK*), which catalyzes the reduction of atmospheric nitrogen to ammonia (NH_3) under microaerophilic conditions [17].

Nitrogenase activity in *Azospirillum* is strictly regulated by oxygen levels, since the nitrogenase enzyme is highly sensitive to oxygen. To cope with this, *Azospirillum* adopts several strategies to create microaerobic niches in the rhizosphere. These include enhanced respiratory protection, production of extracellular polysaccharides that form oxygen-diffusion barriers, and localization in root zones with low oxygen tension [2]. Furthermore, the expression of nitrogenase genes is regulated by the transcriptional activator *NifA*, which is in turn controlled by environmental signals such as oxygen and fixed nitrogen availability [18].

Interestingly, although *Azospirillum* fixes relatively modest amounts of nitrogen compared to symbiotic rhizobia, its real contribution to plant growth arises from the combined effect of nitrogen fixation and phytohormone production, especially indole-3-acetic acid (IAA), which enhances root development and nutrient uptake [19]. Studies using ^{15}N isotope tracing and acetylene reduction assays (ARA) have confirmed the diazotrophic potential of *Azospirillum* both in vitro and in planta, particularly under nitrogen-limited conditions [2]. Moreover, modern genomic analyses have revealed variations in the *nif* gene cluster architecture among *Azospirillum* species, indicating evolutionary adaptation to diverse ecological niches [20].

Despite environmental limitations such as high soil nitrogen suppressing nitrogenase activity, inoculation with *Azospirillum* has been shown to enhance crop performance and reduce the need for synthetic fertilizers in sustainable agriculture systems [17; 21].

Nitrogen fixation in Azospirillum is regulated at both transcriptional and posttranslational levels, with the DRAT/DRAG system controlling nitrogenase activity in response to ammonium and oxygen levels [22]. Azospirillum fixes atmospheric nitrogen only at low oxygen tensions in media devoid of a combined nitrogen source [23].

3.2. Indole-3-Acetic Acid (IAA) Production in *Azospirillum*

One of the key mechanisms by which *Azospirillum* spp. promote plant growth is through the biosynthesis of indole-3-acetic acid (IAA), a principal auxin that influences root architecture, cell elongation, and nutrient uptake. *Azospirillum* produces IAA primarily through tryptophan-dependent pathways, using L-tryptophan as a precursor, which is often exuded by plant roots into the rhizosphere [19; 25].

Several IAA biosynthetic pathways have been described in *Azospirillum*, including the indole-3-pyruvate (IPyA) pathway, indole-3-acetamide (IAM) pathway, and possibly tryptamine

(TAM) and indole-3-acetonitrile (IAN) pathways [19; 25]. Among these, the IPyA pathway is considered the major route in *Azospirillum brasilense*, involving the conversion of L-tryptophan to indole-3-pyruvate by an aminotransferase, followed by decarboxylation to indole-3-acetaldehyde and oxidation to IAA via indole-3-acetaldehyde dehydrogenase [26].

Environmental conditions such as carbon availability, oxygen concentration, and root exudate composition significantly influence IAA biosynthesis. In particular, *Azospirillum* strains increase IAA production in the presence of exogenous tryptophan, a phenomenon that has been exploited in rhizosphere engineering to stimulate plant root growth and lateral root formation [17; 27]. Furthermore, IAA biosynthesis in *Azospirillum* is tightly regulated at the transcriptional level, with genes such as *ipdC* (indolepyruvate decarboxylase) playing a central role in auxin production [25-26].

The IAA produced by *Azospirillum* acts as a signaling molecule not only for plants but also for bacterial physiology, affecting traits such as biofilm formation, exopolysaccharide production, and colonization efficiency [23]. Thus, the auxin-mediated cross-talk between *Azospirillum* and host plants exemplifies a finely tuned mutualistic interaction that enhances plant development and resilience under abiotic stress conditions.

3.3. Tolerance of *Azospirillum* to Abiotic and Biotic Stresses

Azospirillum species exhibit remarkable resilience to a wide range of abiotic and biotic stresses, making them highly suitable candidates for sustainable agriculture, especially under climate-change-driven environmental fluctuations. *Azospirillum* confers tolerance to abiotic and biotic stresses through mechanisms like induced systemic tolerance (IST) and induced systemic resistance (ISR), mediated by phytohormones [7]. Among abiotic stresses, *Azospirillum* shows notable tolerance to drought, salinity, heat, and oxidative stress, enabling survival and activity in adverse rhizospheric environments [28]. This stress tolerance is mediated by several adaptive mechanisms including the production of osmoprotectants (e.g., proline, trehalose), antioxidant enzymes (superoxide dismutase, catalase), and the activation of universal stress proteins (USPs) and heat shock proteins [29].

Under saline conditions, *Azospirillum* maintains nitrogen fixation and auxin production, enhancing plant tolerance by modulating ionic balance, maintaining membrane integrity, and stimulating root system architecture [17]. In drought conditions, *Azospirillum*-inoculated plants show enhanced abscisic acid (ABA) signaling, reduced stomatal conductance, and improved water-use efficiency [30]. Certain strains, such as *A. brasilense* Sp245 and Sp7, are genetically equipped with stress-responsive genes that confer resistance to desiccation and oxidative injury [20].

Regarding biotic stress, *Azospirillum* contributes to plant defense by triggering induced systemic resistance (ISR), largely mediated through the jasmonic acid and ethylene pathways [31]. The bacterium may also compete with pathogens in the rhizosphere via siderophore production, antimicrobial compound synthesis, and biofilm formation, thereby limiting pathogen colonization

[23]. Moreover, co-inoculation studies with other beneficial microbes such as *Pseudomonas* or *Trichoderma* show synergistic effects in disease suppression and enhanced plant immunity [32].

Collectively, the multifaceted stress tolerance of *Azospirillum*, both in terms of its own survival and its impact on plant resilience, underlines its potential as a bioinoculant for sustainable crop production in marginal soils and under variable climatic conditions.

4. APPLICATION OF *AZOSPIRILLUM* IN CUCUMBER AND TOMATO CULTIVATION

Azospirillum biofertilizers have a long history and are widely used in organic farming [9]. *Azospirillum* is a plant growth-promoting bacterium with diverse applications in agriculture and beyond. Its commercial use is widespread in South America, with over 100 products in the market [33].

Azospirillum inoculants are mainly used for cereal crops in developing countries, with significant potential for benefiting human societies [16]. *Azospirillum* bacteria can promote crop yields, but success depends on optimal inoculation methods and formulations. The data indicates a 60-70% success rate with statistically significant yield increases of 5-30%. Successful inoculation requires attention to the optimal number of *Azospirillum* cells [8]. Co-inoculation with rhizobia is an emerging practice for soybeans, showing high efficiency under field conditions [33].

The use of *Azospirillum* spp. as a biofertilizer and biostimulant has shown considerable promise in enhancing the growth, productivity, and stress resilience of horticultural crops such as cucumber and tomato (Figure 2). These economically significant vegetables are often sensitive to soil fertility and environmental stresses, making them ideal candidates for plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR)-based interventions.

In cucumber cultivation, inoculation with *Azospirillum* has been associated with improved seed germination, increased shoot and root biomass, and enhanced nutrient uptake—particularly nitrogen, phosphorus, and potassium [34-35]. *Azospirillum* enhances root architecture through indole-3-acetic acid (IAA) production, which stimulates lateral root proliferation and facilitates water and nutrient absorption. Studies have also demonstrated improved chlorophyll content, fruit yield, and resistance to abiotic stresses such as drought and salinity in cucumber plants inoculated with *Azospirillum brasilense* [16; 36]. *Azospirillum brasilense* inoculation enhanced cucumber seedling growth when fertilized with fish effluent. Inoculated cucumber seedlings showed increased root length, biomass, and biochemical activities [37].

In the case of tomato, *Azospirillum*-based inoculants have been widely tested both in greenhouse and field conditions. Inoculation leads to increased plant height, flowering, and fruit number, primarily due to nitrogen fixation, auxin synthesis, and solubilization of nutrients [38]. Several studies have also reported that co-inoculation of *Azospirillum* with other beneficial microbes (e.g., *Pseudomonas fluorescens*, *Trichoderma harzianum*) can synergistically enhance tomato growth, improve fruit quality, and reduce disease incidence [39]. Additionally, *Azospirillum* has been linked to induced systemic resistance (ISR) in tomato, reducing the impact of pathogens

such as *Fusarium oxysporum* and *Ralstonia solanacearum* [40]. Maximum growth of tomatoes was observed in the treatment combining *Azotobacter sp.* and *Azospirillum sp.* with 75% NPK. This treatment resulted in high germination rates (90%), plant height (51cm), leaf area (59cm2), branches per plant (8.66), and leaves per branch (17.33cm). The strains show potential as biofertilizers for enhancing soil fertility and plant growth, but require field condition assessment before commercial use [41].

Inoculation with *Pseudomonas fluorescens* Rt6M10 and *Azospirillum brasilense* Az39 increases yield and fruit quality, seedling root and shoot dry weights, improving tolerance to transplant stress of tomato under field conditions. Az39 significantly increased fruit number and weight in both tomato varieties, enhancing yield. Bio-inoculation with these bacteria was beneficial for seedling growth and fruit quality, comparable to or surpassing chemical fertilization [42].

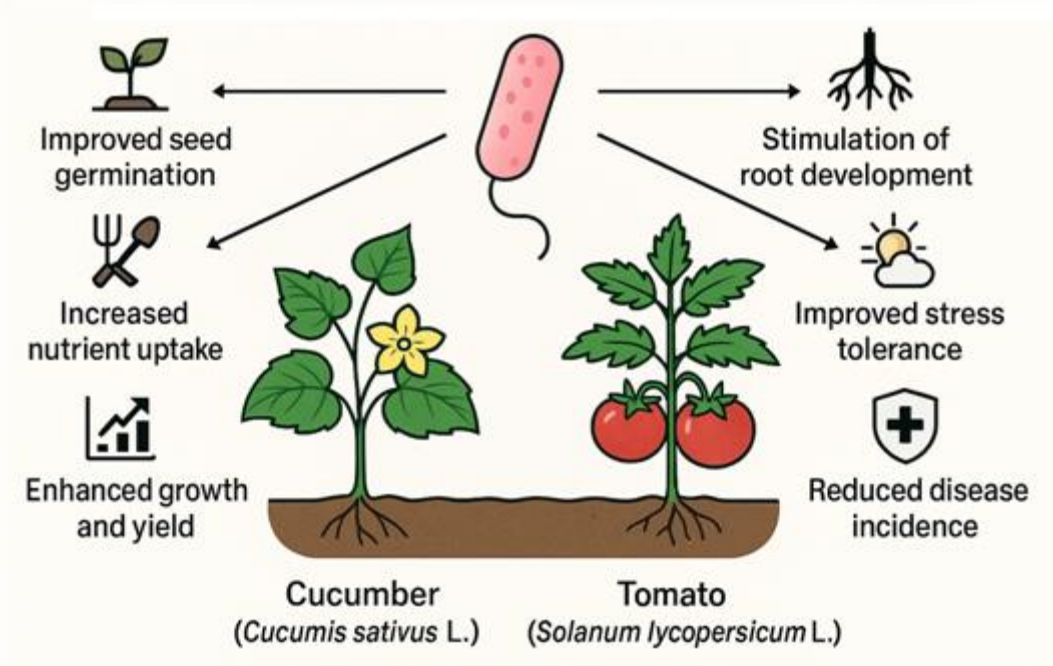


Figure 2. Application of *Azospirillum* in Cucumber and Tomato cultivation

Azospirillum brasilense has shown promising results as a plant growth-promoting rhizobacteria in cucumber, tomato, and lettuce cultivation. Inoculation methods, such as seed soaking and drenching, can enhance early seedling growth, with soaking generally being more effective. The inoculation effect varied greatly with plant species, inoculation methods, and PGPR strains, influenced by inoculum concentration and IAA production. Soaking appeared to be a more suitable technique for seed inoculation, with consistent beneficial effects on tomato [43]. The application of *Azospirillum brasilense* improved plant growth and dry matter production in tomato cultivars Gaúcho Melhorado and San Marzano. The optimal inoculum concentration varies between bacterial strains and plant species, with 4-6 mL/kg of seed often yielding the best results for tomatoes [44]. A. brasilense strains Sp7, Sp7-S, and Sp245 have demonstrated positive effects

on root and shoot growth, germination, and vigor, particularly in tomatoes [43]. The application of *A. brasilense* combined with nitrogen fertilizer has shown improvements in plant vigor and yield in field experiments. Inoculation at sowing time appears to be the most advantageous in terms of handling viability and economic feasibility [45].

The mode of application varies, including seed treatment, root dipping, and soil drenching, with results showing that early-stage inoculation is particularly effective for stimulating root system development. Integration of *Azospirillum* into organic and integrated nutrient management systems has also been found to reduce the dependency on synthetic fertilizers and improve soil health, contributing to sustainable production of cucumber and tomato under both open-field and protected conditions [46-47].

Conclusion. The genus *Azospirillum* represents a promising group of plant growth-promoting rhizobacteria with multifaceted benefits for sustainable agriculture. Its ability to fix atmospheric nitrogen, produce phytohormones such as indole-3-acetic acid, and enhance root architecture contributes significantly to nutrient uptake and overall plant vigor. Moreover, *Azospirillum* exhibits resilience to abiotic stresses such as drought, salinity, and oxidative conditions, and also supports plant defense against pathogens through mechanisms like induced systemic resistance.

In horticultural crops such as cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.), the application of *Azospirillum*-based inoculants has demonstrated consistent improvements in growth, yield, and stress tolerance under both controlled and field conditions. These benefits, along with the ecological advantages of reducing chemical fertilizer use, position *Azospirillum* as a key component of integrated nutrient and disease management systems. Further research on strain selection, formulation optimization, and field-level application strategies will be essential to fully harness the potential of *Azospirillum* in sustainable crop production.

REFERENCES

1. Okon, Y. (1985). Azospirillum as a potential inoculant for agriculture. Trends in Biotechnology, 3(9), 223–228. https://doi.org/10.1016/0167-7799(85)90012-5.

2. Steenhoudt, O., & Vanderleyden, J. (2000). Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. FEMS Microbiology Reviews, 24(4), 487–506. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2000.tb00552.x.

3. Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Ptacek, D., Vanderleyden, J., Dutto, P., Labandera-Gonzalez, C., Caballero-Mellado, J., Aguirre, J. F., Kapulnik, Y., Brener, S., Burdman, S., Kadouri, D., Sarig, S., & Okon, Y. (2001). Responses of agronomically important crops to inoculation with Azospirillum. Functional Plant Biology, 28(9), 871. https://doi.org/10.1071/pp01074.

4. Rodrigues, A. C., Bonifacio, A., De Araujo, F. F., Lira, M. A., Junior, & Figueiredo, M. D. V. B. (2015). Azospirillum sp. as a Challenge for Agriculture. In Sustainable development and biodiversity (pp. 29–51). https://doi.org/10.1007/978-3-319-24654-3_2.

5. Fages, J. (1992). An Industrial View of Azospirillum Inoculants: Formulation and Application Technology. *Symbiosis, 13,* 15-26.

6. Okumura, R.S., Mariano, D.D., Dallacort, R., Lobato, S., Guedes, E.M., Neto, C.F., Conceição, H.E., Antonio, G., & Alves, R. (2013). Azospirillum: A new and efficient alternative to biological nitrogen fixation in grasses. Journal of Food, Agriculture & Environment Vol.11 (1): 1142-1146.

7. Fukami, J., Cerezini, P., & Hungria, M. (2018). Azospirillum: benefits that go far beyond biological nitrogen fixation. AMB Express, 8(1). https://doi.org/10.1186/s13568-018-0608-1.

8. Okon, Y., & Labandera-Gonzalez, C. A. (1994). Agronomic applications of azospirillum: An evaluation of 20 years worldwide field inoculation. Soil Biology and Biochemistry, 26(12), 1591–1601. https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5.

9. Fendrihan, S., Constantinescu, F., Sicuia, O., & Dinu, S. (2017). Azospirillum strains as biofertilizers and biocontrol agents - a practical review. journal of advances in agriculture, 7(3), 1096–1108. https://doi.org/10.24297/jaa.v7i3.6324.

10. Siddhartha, P. S., Debashish, B., Adrita, G., Kalpataru, D. M., & Animesh, G. (2012). A review on the role of Azospirillum in the yield improvement of non leguminous crops. African Journal of Microbiology Research, 6(6), 1085–1102. https://doi.org/10.5897/ajmrx11.019.

11. Pedraza, R. O., Filippone, M. P., Fontana, C., Salazar, S. M., Ramírez-Mata, A., Sierra-Cacho, D., & Baca, B. E. (2020). Azospirillum. In Elsevier eBooks (pp. 73–105). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-823414-3.00006-x.

12. Tarrand, J. J., Krieg, N. R., & Döbereiner, J. (1978). A taxonomic study of the Spirillum lipoferum group, with descriptions of a new genus, Azospirillum gen. nov. and two species, Azospirillum lipoferum (Beijerinck) comb. nov. and Azospirillum brasilense sp. nov. Canadian Journal of Microbiology, 24(8), 967–980. https://doi.org/10.1139/m78-160.

13. Fani, R., Bandi, C., Bazzicalupo, M., Ceccherini, M. T., Fancelli, S., Gallori, E., Gerace, L., Grifoni, A., Miclaus, N., & Damiani, G. (1995). Phylogeny of the genusAzospirillumbased on 16S rDNA sequence. FEMS Microbiology Letters, 129(2–3), 195–200. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1995.tb07579.x.

14. Eckert, B., Weber, O. B., Kirchhof, G., Halbritter, A., Stoffels, M., & Hartmann, A. (2001). Azospirillum doebereinerae sp. nov., a nitrogen-fixing bacterium associated with the C4-grass Miscanthus. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 51(1), 17–26. https://doi.org/10.1099/00207713-51-1-17.

15. Young, C. C., Hupfer, H., Siering, C., Ho, M., Arun, A. B., Lai, W., Rekha, P. D., Shen, F., Hung, M., Chen, W., & Yassin, A. F. (2008). Azospirillum rugosum sp. nov., isolated from oil-contaminated soil. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 58(4), 959–963. https://doi.org/10.1099/ijs.0.65065-0.

16. Bashan, Y., Holguin, G., & De-Bashan, L. E. (2004). Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). Canadian Journal of Microbiology, 50(8), 521–577. https://doi.org/10.1139/w04-035.

17. Bashan, Y., & De-Bashan, L. E. (2010). How the Plant Growth-Promoting Bacterium Azospirillum Promotes Plant Growth—A Critical Assessment. In Advances in agronomy (pp. 77–136). https://doi.org/10.1016/s0065-2113(10)08002-8.

18. Tripathi, A. K., Singh, M., & Klingmueller, W. (1991). Regulation of Nitrogen Fixation Genes in Azospirillum:Characterization of a nif Regulatory Region. In Springer eBooks (pp. 139–145). https://doi.org/10.1007/978-94-011-3486-6_26.

19. Spaepen, S., Vanderleyden, J., & Remans, R. (2007). Indole-3-acetic acid in microbial and microorganism-plant signaling. FEMS Microbiology Reviews, 31(4), 425–448. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2007.00072.x.

20. Ferreira, N. D. S., Coniglio, A., Puente, M., Sant'Anna, F. H., Maroniche, G., García, J., Molina, R., Nievas, S., Volpiano, C. G., Ambrosini, A., Passaglia, L. M. P., Pedraza, R. O., Reis, V. M., Zilli, J. É., & Cassan, F. (2022). Genome-based reclassification of Azospirillum brasilense Az39 as the type strain of Azospirillum argentinense sp. nov. International journal of systematic and evolutionary microbiology, 72(8). https://doi.org/10.1099/ijsem.0.005475.

21. Hungria, M., Campo, R. J., Souza, E. M., & Pedrosa, F. O. (2010). Inoculation with selected strains of Azospirillum brasilense and A. lipoferum improves yields of maize and wheat in Brazil. Plant and Soil, 331(1–2), 413–425. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0262-0.

22. Zhang, Y., Burris, R. H., Ludden, P. W., & Roberts, G. P. (2006). Regulation of nitrogen fixation in Azospirillum brasilense. FEMS Microbiology Letters, 152(2), 195–204. https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1997.tb10428.x.

23. Broek, A. V., & Vanderleyden, J. (1995). Review: Genetics of theAzospirillum-Plant Root Association. Critical Reviews in Plant Sciences, 14(5), 445–466. https://doi.org/10.1080/07352689509701932.

24. Dobbelaere, S., Vanderleyden, J., & Okon, Y. (2003). Plant Growth-Promoting effects of diazotrophs in the rhizosphere. Critical Reviews in Plant Sciences, 22(2), 107–149. https://doi.org/10.1080/713610853.

25. Costacurta, A., Keijers, V., & Vanderleyden, J. (1994). Molecular cloning and sequence analysis of an Azospirilium brasilense indole-3-pyruvate decarboxylase gene. MGG Molecular & General Genetics, 243(4), 463–472. https://doi.org/10.1007/bf00280477.

26. Spaepen, S., & Vanderleyden, J. (2010). Auxin and Plant-Microbe interactions. Cold Spring Harbor Perspectives in Biology, 3(4), a001438. https://doi.org/10.1101/cshperspect.a001438.

27. Perrig, D., Boiero, M. L., Masciarelli, O. A., Penna, C., Ruiz, O. A., Cassán, F. D., & Luna, M. V. (2007). Plant-growth-promoting compounds produced by two agronomically important strains of Azospirillum brasilense, and implications for inoculant formulation. Applied Microbiology and Biotechnology, 75(5), 1143–1150. https://doi.org/10.1007/s00253-007-0909-9.

28. Vurukonda, S. S. K. P., Vardharajula, S., Shrivastava, M., & SkZ, A. (2015). Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research, 184, 13–24. https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003.

29. Nagarajan, T., Vanderleyden, J., & Tripathi, A. K. (2007). Identification of salt stress inducible genes that control cell envelope related functions in Azospirillum brasilense Sp7. Molecular Genetics and Genomics, 278(1), 43–51. https://doi.org/10.1007/s00438-007-0224-2.

30. Romero, A., Vega, D., & Correa, O. (2014). Azospirillum brasilense mitigates water stress imposed by a vascular disease by increasing xylem vessel area and stem hydraulic conductivity in tomato. Applied Soil Ecology, 82, 38–43. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.010.

31. Pieterse, C. M., Zamioudis, C., Berendsen, R. L., Weller, D. M., Van Wees, S. C., & Bakker, P. A. (2014). Induced systemic resistance by beneficial microbes. Annual Review of Phytopathology, 52(1), 347–375. https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102340.

32. Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., CléMent, C., & Barka, E. A. (2005). Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for biocontrol of plant Diseases: Principles, Mechanisms of action, and Future Prospects. Applied and Environmental Microbiology, 71(9), 4951–4959. https://doi.org/10.1128/aem.71.9.4951-4959.2005.

33. Cassán, F., Coniglio, A., López, G., Molina, R., Nievas, S., De Carlan, C. L. N., Donadio, F., Torres, D., Rosas, S., Pedrosa, F. O., De Souza, E., Zorita, M. D., De-Bashan, L., & Mora, V. (2020). Everything you must know about Azospirillum and its impact on agriculture and beyond. Biology and Fertility of Soils, 56(4), 461–479. https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y.

34. Islam, S., Akanda, A. M., Prova, A., Islam, M. T., & Hossain, M. M. (2016). Isolation and Identification of Plant Growth Promoting Rhizobacteria from Cucumber Rhizosphere and Their Effect on Plant Growth Promotion and Disease Suppression. Frontiers in Microbiology, 6. https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01360.

35. Zapata-Sifuentes, G., Hernandez-Montiel, L. G., Saenz-Mata, J., Fortis-Hernandez, M., Blanco-Contreras, E., Chiquito-Contreras, R. G., & Preciado-Rangel, P. (2022). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria Improve Growth and Fruit Quality of Cucumber under Greenhouse Conditions. Plants, 11(12), 1612. https://doi.org/10.3390/plants11121612.

36. Khalid, A., Arshad, M., & Zahir, Z. (2004). Screening plant growth-promoting rhizobacteria for improving growth and yield of wheat. Journal of Applied Microbiology, 96(3), 473–480. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2003.02161.x.

37. Mangmang, J. S., Deaker, R., & Rogers, G. (2015a). Response of Cucumber Seedlings Fertilized with Fish Effluent toAzospirillum brasilense. International Journal of Vegetable Science, 22(2), 129–140. https://doi.org/10.1080/19315260.2014.967433.

38. Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. Scientia Horticulturae, 196, 124–134. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042.

39. Yasmeen, A., Nouman, W., Basra, S. M. A., Wahid, A., Hafeez-Ur-Rehman, N., Hussain, N., & Afzal, I. (2014). Morphological and physiological response of tomato (Solanum lycopersicum L.) to natural and synthetic cytokinin sources: a comparative study. Acta Physiologiae Plantarum, 36(12), 3147–3155. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1662-1.

40. Bashan, Y., & Holguin, G. (1997). Azospirillum–plant relationships: environmental and physiological advances (1990–1996). Canadian journal of Microbiology, 43(2), 103-121.

41. Reddy, S., Singh, A. K., Masih, H., Benjamin, J. C., Ojha, S. K., Ramteke, P. W., & Singla, A. (2018). Effect of Azotobacter sp and Azospirillum sp on vegetative growth of Tomato (Lycopersicon esculentum). Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7(4), 2130-2137.

42. Pérez-Rodriguez, M. M., Pontin, M., Lipinski, V., Bottini, R., Piccoli, P., & Cohen, A. C. (2020). Pseudomonas fluorescens and Azospirillum brasilense Increase Yield and Fruit Quality of Tomato Under Field Conditions. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 20(4), 1614–1624. https://doi.org/10.1007/s42729-020-00233-x.

43. Mangmang, J., Deaker, R., & Rogers, G. (2015b). Early seedling growth response of lettuce, tomato and cucumber to Azospirillum brasilense inoculated by soaking and drenching. Horticultural Science, 42(1), 37–46. https://doi.org/10.17221/159/2014-hortsci.

44. De Souza Antunes De Lima, N., Vogel, G. F., & Fey, R. (2018). Rates of application of *Azospirillum brasilense* in tomato crop. revista de agricultura neotropical, 5(4), 81–87. https://doi.org/10.32404/rean.v5i4.3142.

45. Terry, E., Pino, M. D. L. A., & Medina, N. (2000). Application times of an Azospirillum bioproduct in tomato growth, development and yield. Cultivos Tropicales, 21(4), 5-8.

46. Bhattacharyya, P. N., & Jha, D. K. (2012). Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28, 1327-1350.

47. Kloepper, J. W., Leong, J., Teintze, M., & Schroth, M. N. (1980). Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth-promoting rhizobacteria. Nature, 286(5776), 885-886.

SERAMİK SAĞLIK GEREÇLERİ SIR KOMPOZİSYONUNDA ALTERNATİF HAMMADDE KAYNAKLARININ KULLANIMI

İrem ALTINOK
Çanakcılar Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
irem.altinok@creavit.com.tr - 0000-0001-9217-6502
Beste BULTAN TUNA
Çanakcılar Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
beste.tuna@creavit.com.tr - 0000-0002-6097-3002
Sezer KULLUK
Çanakcılar Seramik Sanayi ve Ticaret A.Ş.
sezer.kulluk@creavit.com.tr - 0009-0009-9631-5368
Prof. Dr. Fatih ÇALIŞKAN
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü,
fcaliskan@subu.edu.tr - 0000-0002-9568-7049

ÖZET

Seramik sektöründe sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, endüstriyel üretim süreçlerinde doğal kaynak tüketiminin azaltılması ve atıkların değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, seramik sağlık gereçlerinde kullanılan sır reçetesinde SiO_2 kaynağı olarak pirinç kabuğu ve CaO kaynağı olarak deniz kabuğu kullanılarak, çevre dostu bir alternatif reçete geliştirilmiştir.

Pirinç kabukları öğütülerek 800 °C'de kalsine edilmiş ve organik içeriğinden arındırılmıştır. Deniz kabukları ise öğütülerek uygun tane boyutuna getirilmiştir. Ticari sır reçetesinde kullanılan kuvars ve kalsitin yarısı, sırasıyla pirinç ve deniz kabukları ile ikame edilmiştir. Elde edilen alternatif sır, seramik plakalar üzerine uygulanarak 1204 °C'de pişirilmiştir. Hazırlanan sır örnekleri üzerinde dilatometre analizi, ısı mikroskobu gözlemleri, XRF ve XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca pişirilen plakaların yüzey özellikleri renk ölçümü (CIELAB) ve yüzey pürüzlülüğü (Ra, Rz, Rmax) testleri ile değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, pirinç ve deniz kabuğu katkılı sırın termal genleşme davranışının kontrol altında olduğu, amorf-kristalin yapısının istenilen seviyelerde geliştiği ve kimyasal bileşiminin ticari ürünle uyumlu olduğu belirlenmiştir. Renk ölçümleri ve yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ise, alternatif sırın yüzey kalitesi ve parlaklık açısından ticari üründen daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu çalışma, tarımsal ve deniz atıklarının seramik sırlarında başarılı bir şekilde değerlendirilebileceğini, çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlayarak ekonomik açıdan da avantaj oluşturabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Seramik sağlık gereçleri, sürdürülebilirlik, alternatif hammadde.

1. GİRİŞ

Günümüzde seramik sağlık gereçlerinin üretiminde kullanılan sır formülasyonları hem estetik hem de fonksiyonel gerekliliklere cevap verecek şekilde tasarlanmaktadır. Sırın yüzey parlaklığı, kimyasal dayanımı ve hijyen gibi özellikleri seramik ürünlerin kalitesini belirleyen başlıca faktörlerdendir. Ancak, doğal kaynakların tükenmesi, enerji maliyetlerinin artması ve çevresel sürdürülebilirlik hedefleri, alternatif hammadde kaynaklarının seramik sırlarında kullanımını önemli bir araştırma konusu haline getirmiştir. Son yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, atık cam, seramik çamur atıkları ve feldspatik artıkların sır kompozisyonlarında başarıyla kullanılabileceğini göstermektedir. Örneğin Mendaci ve arkadaşları (2025), soda-kireç cam atığının sır içinde dolomit ve feldispat yerine kullanılmasıyla yüzey parlaklığı ve beyazlığın arttığını, mekanik dayanımın iyileştiğini rapor etmiştir. Bu sayede sırın ergime sıcaklığında da düşüş sağlanmış, enerji tüketimi azaltılmıştır. 20–34 % soda-kireç camı içeren formülasyonların parlaklık, yüzey beyazlığı ve mekanik dayanımda anlamlı iyileşmeler sunduğunu gösterilmiştir [1]. Boudeghdegh ve Boulaiche (2022), endüstriyel soda-kireç cam atığını seramik gövde ve sır bileşimlerine ekleyerek ürün yoğunluğunda artış, su emiliminde ise anlamlı bir azalma elde ettiklerini belirtmiştir. Bu özellikler seramik sağlık gereçlerinin hijyen ve dayanıklılığı açısından önemli kazanımlar sunmaktadır. Soda-kireç camında feldspat yerine %5–20 oranında eklendiğinde, bünye yoğunluğunun 2'den 2.52 g/cm³, su emiliminin %0.35'den %0.02 ve eğilme mukavemetinin ise 33'den 51 MPa'a yükseldiği görülmüştür [2]. Benzer şekilde Silva ve arkadaşları (2022), seramik üretiminden elde edilen çamur atıklarının sır ve gövde kompozisyonunda kullanılabileceğini ve bu sayede sırın camsı faz oluşumunun desteklenerek daha düşük sıcaklıklarda iyi yüzey kalitesi elde edilebileceğini belirtmiştir. Feldspatik ergitici yerine %5'in üzerinde ve artan oranlarda seramik çamur atığı kullanıldığında, reoloji, sertlik, su emilimi ve eğilme dayanımı (flexural strength) değerlerinin iyileştiği raporlanmıştır [3]. Tarhan B. (2016) ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada vitrifiye karo üretiminde vitrifiye pişmiş atıkların yeniden kullanımı çalışılmıştır. Seramik sağlık gereçleri atıkları feldspat ya da pegmatit yerine kullanım imkanları değerlendirilmiştir. Pegmatit yerine bu atıkların kullanımı, eğilme mukavemetinin artmasına ve termal genleşme katsayılarının azalmasına neden olduğu raporlandı [4]. Göl ve Yılmaz (2021) ve ark. yaptığı çalışmada, sırlarda cam atığının frit yerine kullanım potansiyeli inceledi. Seramik sır formülasyonlarında frit yerine %3–8 oranında cam atığının ilavesi kullanıldı. Yapılan çalışma sonunda, cam atıkları ilavesinin numuneler üzerindeki kimyasal ve fiziksel özelliklere etkileri incelendiğinde, ikame açısından ümit verici sonuçlar elde edildi [5]. Conte S. ve ark. (2020), yaptığı çalışma da ise atık camların porselen taş kesme karolarında ergitici (flux) olarak kullanımının sinterleme süreçleri, faz içeriği vs

özelliklere etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak, atık camların feldspatik akışkanlara alternatif olarak kullanılmasıyla; sinterleme davranışının ve camsı fazın bileşiminin değiştiği görülmüştür [6]. Tarımsal üretim atıkları arasında yer alan pirinç kabuğu, yüksek silika (SiO_2) içeriği sayesinde cam faz oluşturulmasında etkili bir kaynak olarak kullanılabilir. Benzer şekilde deniz kabukları, yüksek kalsiyum oksit (CaO) içeriği ile mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde katkı sağlayabilir. Farklı alanlarda yapılan çalışmalarda, pirinç kabuğundan elde edilen silikanın çeşitli reaksiyonlar için kimyasal proseslerden elde edilen silikaya alternatif olarak kullanma çalışmaları gerçekleştirilmiştir [7]. Karadeniz sahilinden toplanan deniz kabukları, 700 °C'de 1 saat ısıtılarak $CaCO_3$ yapısındaki kalkitten aragonit yapıya dönüştürülerek elde edilen CaO, %10–30 oranlarında mat sır formülasyonlarına dahil edilmiş ve %10–20 aralığında saydamlığı artırırken, %30'da mat görünüm elde edilmiştir [8].

Bu çalışmalar, çeşitli cam ve seramik atıklarının alternatif hammaddeler olarak sır kompozisyonuna dahil edildiğinde, ergime sıcaklığını düşürerek enerji verimliliğini desteklediği, mekanik mukavemeti, yoğunluğu ve parlaklığı artırarak estetik ve dayanıklılık kazandırdığı, su emilimini azaltarak hijyenik yüzeyler elde edilmesine olanak tanıdığını görülmektedir. Tüm bu çalışmalar, alternatif hammaddelerin doğru oranlarda kullanılması durumunda yalnızca çevresel fayda sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda ürün performansını da artırabileceğini ortaya koymaktadır. Seramik sağlık gereçlerinin üretiminde alternatif kaynakların kullanımına yönelik araştırmaların artarak devam etmesi, hem ekonomik hem de çevresel açıdan önemli katkılar sağlayacaktır. Bu çalışmalar, alternatif hammadde kaynaklarının sır performansı üzerinde önemli olumlu etkiler yaratabileceğini göstermekle birlikte, her alternatif hammadde kaynağının dikkatli bir kimyasal ve mineralojik analizle sır formülasyonuna entegre edilmesi gereklidir.

Bu çalışmada, pirinç kabuğu külü ve deniz kabuğunun seramik sırlarında alternatif hammadde olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçların sürdürülebilir seramik üretimi açısından yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kullanılan hammaddelerden pirinç kabukları öncelikle kurutulmuş, ardından değirmende öğütülerek toz formuna dönüştürülmüştür. Daha sonra 800 °C sıcaklıkta kalsine edilerek empürite maddeler yapıdan uzaklaştırılarak, ürün rafine edilmiştir. Diğer bir alternatif hammadde olan deniz kabukları ise temizlenip kurutulduktan sonra benzer bir proses yardımıyla öğütülerek uygun tane boyutuna getirilmiştir.



Görsel 1. Ham Deniz Kabuğu ve Öğütülmüş Görseli



Görsel 2. Ham Pirinç Kabuğu ve Öğütülüp 800 ºC'de Kalsine Edilmiş Görseli

Alternatif sır reçetesi hazırlanırken, ticari sırda yer alan kuvars ve kalsit miktarlarının yarısı sırasıyla pirinç kabuğu külü ve deniz kabuğu ile ikame edilmiştir.

Çizelge 1. Geliştirilen Sır Reçetesi

REÇETE	
HAMMADDELER	**%**
Feldspat	30,0

Kuvars	14,5
Kaolen	10,5
Mikronize Hammaddeler	23,0
Deniz Kabuğu	7,5
Pirinç Kabuğu Külü	14,5

Bu şekilde hazırlanan sır karışımı, seramik plaka yüzeylerine uygulanmış ve 1200°C'de pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3. Hazırlanan Sırın Plaka Uygulaması

Numuneler üzerinde dilatometre ile termal genleşme analizi, ısı mikroskobu ile yumuşama ve akma gözlemleri, XRF ile kimyasal bileşim analizi ve XRD ile faz tayini yapılmıştır. Ayrıca yüzey karakterizasyonu için renk ölçümleri (CIELAB) ve yüzey pürüzlülük değerleri (Ra, Rz, Rmax) elde edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

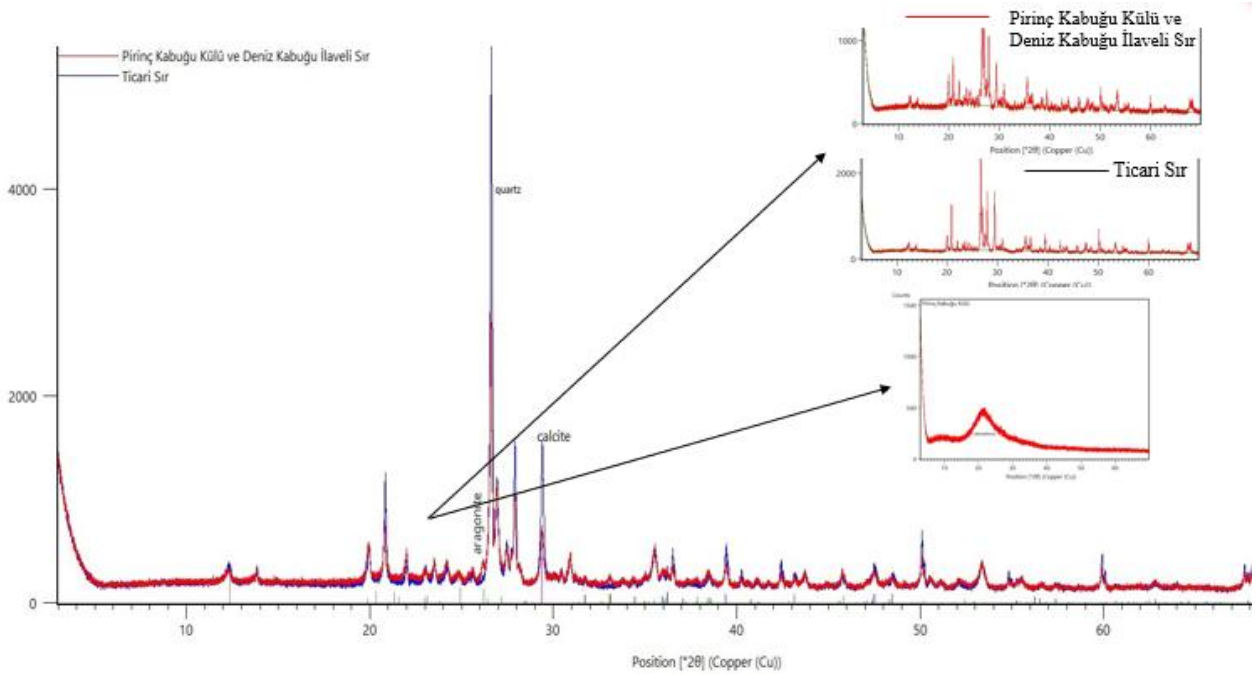
Pirinç kabuğu külü ve deniz kabuğu katkılı sırın kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, analiz sonuçlarının ticari sır ile büyük ölçüde benzerlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu da kimyasal analiz açısından sır için reçetelendirilebilir nitelikte olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. Hazırlanan Sırların Kimyasal Bileşimi (%)

Kimyasal Analiz	Pirinç ve Deniz Kabuğu Katkılı Sır	İşletmede Kullanılan Ticari Sır
SiO_2	56,17	57,2
$Al2O_3$	9,75	9,81
Fe_2O_3	0,232	0,213
TiO_2	0,089	0,09
CaO	10,73	10,63
MgO	0,91	0,8
Na_2O	1,94	1,81
K_2O	2,33	1,92
ZnO	0,98	0,96
P_2O_5	0,12	0,02
ZrO_2	5,9	5,87
HfO_2	0,13	0,13
LOI	10,54	10,49
Toplam	99,961	99,94

XRF analizine göre alternatif sırdaki SiO_2 ve CaO oranları sırasıyla %56,17 ve %10,73 olarak belirlenmiş, bu oranların ticari sır ile uyumlu olduğu görülmüştür.

XRD analizinde amorf faz ile birlikte müllit ve kuvars gibi kristal yapılı fazlar tespit edilmiştir. Bu fazlar olası fazlar olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte amorf fazı az miktarda daha belirgindir.



Görsel 4. Hazırlanan Sırların Minerolojik Analizi

Termal özellikleri ele alındığında;

Çizelge 3 incelendiğinde, dilatometre analizinde alternatif sırın termal genleşme katsayısı **α 400'de** 61,8 x10^{-7}/K olarak ölçülmüş, bu da seramik gövde ile uyumlu bir değer olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 3. Hazırlanan Sırın Termal Genleşme Değerleri

Reçete	**α 100**	**α 200**	**α 300**	**α 400**	**α 500**	**α 600**	**α 700**	**α 800**
Deniz ve Pirinç Kabuğu İlaveli Sır	65,2	58,9	60,8	61,8	62,5	63,4	64,7	74,8

Renk ölçümü ve Pürüzlülük;

Çizelge 4 incelendiğinde, Renk ölçümleri sonucunda L değeri 90,17 olarak belirlenmiş, yüzey parlaklığının yüksek olduğu gözlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerleri ise Ra: 0,123 µm, Rz: 0,836 µm, Rmax: 0,977 µm olarak ölçülmüş ve ticari sırdan daha düzgün bir yüzey elde edildiği saptanmıştır.

Çizelge 4. Hazırlanan Sırın Renk Ölçümü ve Pürüzlülük Değerleri

Reçete	L	a	b	dL	da	db	dE	G	Ra	Rz	Rmax
Deneme Sırı	90,17	-0,82	0,79	-0,43	0	0,68	0,8	94,19	0,123	0,836	0,977

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada seramik sırlarında SiO_2 ve CaO kaynağı olarak sırasıyla pirinç kabuğu külü ve deniz kabuğu kullanılarak hazırlanan alternatif sır reçetesinin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu atık hammaddelerin ticari sırlarla benzer fiziksel ve kimyasal özellikler sağladığını ve yüzey kalitesi açısından üstün performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Sürdürülebilirlik açısından bu tür alternatif hammaddelerin kullanımı çevresel etkiyi azaltmakta ve ekonomik avantajlar sağlamaktadır. Hammadde kaynaklarının tükenmesine, tedarik edilebilirlik kısıtları ve alternatif ve ekonomik hammadde kaynaklarının ortaya çıkmasına karşı alternatif hammadde ihtiyacı giderek artan bir gerçekliktir.

Kaynakça

1. Mendaci S. ve ark. (2024). *Effects of Soda Lime Glass Waste on the Physical, Mechanical and Aesthetics Properties of Sanitary-Ware Glazes*. Science of Sintering, DOI: 10.2298/SOS241008046M
2. Boudeghdegh K., Boulaiche K. ve ark. (2022). *Valorisation of Industrial Soda-Lime Glass Waste and Its Effect on the Rheological Behavior, Physical-Mechanical and Structural Properties of Sanitary Ceramic Vitreous Bodies*. IIETA, 46(3):147-154. DOI: 10.18280/acsm.460306
3. Silva T. H. H., Cunha de Resende M., et al. (2022). *Valorization of Ceramic Sludge Waste as Alternative Flux: A Way to Clean Production in the Sanitary Ware Industry*. *Cleaner Engineering and Technology*, 7:100453.
4. Tarhan B. (2017). *Reusing sanitaryware waste products in glazed porcelain tile production*. *Ceramics International*. DOI: 10.1016/j.ceramint.2016.11.123
5. Göl F., Yılmaz A. (2021). *Reuse of glass waste in the manufacture of ceramic tableware glazes*. *Ceramics International*, 47(15):21061-21068. DOI: 10.1016/j.ceramint.2021.04.108
6. Conte S. et al. (2020). Glassy wastes as feldspar substitutes in porcelain stoneware tiles: Thermal behaviour and effect on sintering process, Materials Chemistry and Physics, Volume 256, 1 December 2020, 123613
7. Chandrasekhar, S., et al. (2003). Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk—an overview. Journal of Materials Science, 38(15), 3159–3168.

8. Pekşen, C., Koroglu, L., & Kartal, H. (2020). Utilization of seashells in matte glaze preparation. International Journal of Applied Ceramic Technology, 17(4), 1940–1947. DOI: 10.1111/ijac.13513

Al_2O_3-SU NANOAKIŞKANLI KARIŞIK TAŞINIM AKIMLARIYLA ÜST ÜSTE SIRALANMIŞ TAÇ DESENLİ ELEMAN DİZİSİNİN SOĞUTULMASI

Doç. Dr. Koray KARABULUT

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, 58140 Merkez, Sivas
kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr - ORCID: 0000-0001-5680-0988

Dr. Öğr. Üyesi Yeliz ALNAK

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği Bölümü, 58140 Merkez, Sivas
ytas@cumhuriyet.edu.tr - ORCID: 0000-0003-4383-3806

ÖZET

Karışık taşınımla ısı transferi, doğal ve zorlanmış taşınımın birlikte oluşturduğu bir birleşim olup, kanal içi ısınmış elemanların soğutulmasının artırılması amacıyla son yıllarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, dikey bir kanalda bulunan üst üste konumlandırılmış iki adet taç desenli ısınmış elemandan karışık taşınımla olan ısı transferi su ve Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak değerlendirilmiştir. Kanal içerisinde karışık taşınımın iyileştirilmesi amacıyla kanalın sağ üst giriş kısmına 30^o ve 60^o açılı akış yönlendirici kanatçık yerleştirilmiştir. Sayısal hesaplamalar, sürekli, laminer ve iki boyutlu olarak süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Dikey kanaldaki taç desenli elemanlara sabit ısı akısı uygulanırken, kanalın taç elemanlar harici yüzeyleri ve kanatçık ise adyabatiktir. Kanalda kullanılan akışkanlar sıkıştırılamaz özellikte olup, kanala giriş sıcaklıkları 293 K' dir. Çalışma, Reynolds sayısı değerinin (Re) 500, değiştirilmiş Richardson sayısı aralığının (Ri*) 100-200 ve AGM (Akış Geçiş Oranı)'nin 2 ve 4 değerleri için yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, Ri* sayısına bağlı olarak farklı AGM ve kanatçık açısı değerlerinde üst ve alt desenin her biri için su ve Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılması durumlarında ortalama Nu sayıları (Nu_m) ve desen yüzey sıcaklıkları (T_s) göz önüne alınarak araştırılmıştır. Ayrıca, incelenen iki farklı AGM ve Ri* sayısı için kanatçıksız ve kanatçıklı durumlarda dikey kanallardaki hız ve sıcaklık konturu dağılımları Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılarak değerlendirilmiştir. Üst taraftaki nesne için AGM=2 ve Ri*=150'de 60^o kanatçık açılı nanoakışkan kullanılması durumunda kanatçıksız su kullanılması durumuna göre Nu_m sayısının Ri=100 değerindekinden %15,39 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karışık taşınım, Al_2O_3-su nanoakışkanı, Taç desenli nesne, Soğutma

COOLING OF A STACKED UP CROWN PATTERNED ELEMENT ARRAYS BY MIXED CONVECTION CURRENTS WITH Al_2O_3-WATER NANOFLUIDS

ABSTRACT

Mixed convection heat transfer is a combination of natural and forced convection and has been used extensively in recent years to increase the cooling of heated elements in the channel. In this study, the mixed convection heat transfer from two crown patterned heated elements positioned on top of each other in a vertical channel was numerically evaluated using water and Al_2O_3-water nanofluids. In order to improve mixed convection within the channel, 30^o and 60^o angled flow director fin was placed at the upper right inlet of the channel. Numerical calculations were made by solving the continuity, momentum and energy equations in continuous, laminar and two-dimensional forms using the Ansys-Fluent program. While constant heat flux is applied to the crown patterned elements in the vertical channel, the surfaces of the channel except the crown elements and the fin are adiabatic. The fluids used in the channel are incompressible and the channel inlet temperature is 293 K. The study was conducted for Reynolds number (Re) value of 500, modified Richardson number range (Ri*) of 100-200 and AGM (Flow Passage Ratio) values of 2 and 4. When the results obtained from the study were compared with the experimental and numerical results in the literature, it was determined that the results were compatible with each other. The results were investigated by considering the mean Nu numbers (Nu_m) and pattern surface temperatures (T_s) in the cases of using water and Al_2O_3-water nanofluids for each of the upper and lower patterns at different AGM and fin angle values depending on the Ri* number. Additionally, the velocity and temperature contour distributions in vertical channels in the finless and finned cases for two different AGM and Ri* numbers were evaluated using Al_2O_3-water nanofluid. For the upper object, it was specified that when nanofluid with 60^o fin angle was used at AGM=2 and Ri*=150, the Nu_m number was 15.39% higher than that at Ri=100, compared to the case of using water without fins.

Keywords: Mixed convection, Al_2O_3-water nanofluid, Crown patterned object, Cooling

1. GİRİŞ

Isı transferi uygulamalarında yeni yaklaşımlarla geliştirilmiş ekipmanların verimliliklerinin artırılarak işletme maliyetleri düşük, çevre hassasiyeti gözetilmiş ve güvenliği yüksek ürünler geliştirme çalışmaları son yıllarda yoğunlaşmıştır (Alnak ve Karabulut, 2024).

Elektronik bileşenlerin soğutulması, daha hızlı, daha küçük ve daha güvenilir sistemlerin geliştirilmesi bakımından oldukça önemlidir. Uygulamada ısı yayan çoğu elektronik bileşen

dizileri dikey veya eğimli paralel plaka kanalları arasına yerleştirilerek soğutulmaktadır. Böylece, cihazdan elde edilen verimlilikte artış sağlanırken, oluşabilecek ısıl gerilmelere karşı önlem alındığından cihazın ömrü uzatılabilmekte ve maddi açıdan da kazanç sağlanabilmektedir.

Bununla birlikte, kanal içi akış ve ısı transferi uygulamalarında doğal ve zorlanmış taşınımın birlikte kullanıldığı karışık taşınım uygulamaları son zamanlarda mühendisler ve tasarımcılar tarafından yoğun olarak değerlendirilen uygulamalar arasında yer almaktadır. Karışık taşınımla ısı transferi üzerine yapılan araştırmalar, ısı eşanjörleri, kimyasal işleme ekipmanlarında, güneş enerjisi toplayıcılarının ve elektronik soğutma vb. gibi uygulamalar birçok mühendislik alanında giderek daha fazla ilgi görmektedir. Böylece, ısınmış olan bileşenler tarafından etrafındaki akışkan ile olan sıcaklık farkına dayalı olarak gerçekleşen doğal taşınımla olan ısı transferinin engellenmeden zorlanmış taşınımla desteklenerek ısı transferi artırılabilmektedir.

Literatürde karışık taşınımla ısı transferi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Bunlardan birinde, Papanicolaou ve Jaluria (1993) çalışmalarında yalıtılmış ve sabit değerde bir ısı kaynağı içeren dikdörtgensel bir sistemdeki karışık taşınımı irdelemişlerdir. Auletta ve ark. (2001) ise dik olarak konumlanmış ve simetrik olarak ısıtılan aşağı yönlü akışı olan bir kanalda adyabatik olarak genişlemenin ısı transferi üzerindeki etkilerini sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda ortalama Nusselt (Nu) sayısında eğim açısına büyük ölçüde bağlı olarak %10-20 arasında bir artış olduğunu belirlemişlerdir. Moukalled ve ark. (2000) eğimli yüzeylerine ısıtma uygulanan ve duvarlarının ise adyabatik olarak şartlandırıldığı dik bir kanal için karışık ısı taşınımının sayısal olarak araştırıldığı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesit alanının artırılması durumunda konveks yüzeyinin ısıtıldığı bir kanal için akış hızının azaldığı ve bu duruma bağlı olarak kaldırma kuvvetlerinin arttığı belirlenirken; ısıtılan yüzeylere yakın bölgelerde düşük değerlerde Ri sayıları ve karşısındaki dik duvarda ise yüksek Ri sayıları değerlerine ulaşmışlardır. Rao ve Narasimham (2007) birbirlerine göre yatay olarak sıralanmış ısı üretimi olan elemanlardan oluşan duvarın olduğu yatay ve dik bir kanaldaki karışık konveksiyonun sayısal olarak incelemesini gerçekleştirmişlerdir. Karışık konveksiyonda doğal konveksiyonun neden olduğu kütle akış hızının Gr ve Re sayılarıyla ilişkili olduğu göz önüne alınarak, alt tabakadan iletim yoluyla çalışma akışkanına aktarılan ısının %41-47 oranında arttığı belirlenmiştir. Rosas ve ark. (2017) bir tarafı adyabatik diğer tarafı sabit bir ısı akısına sahip olan yarı silindirik engel içeren dik bir kanaldaki karışık konveksiyon sonucu oluşan ısı transferini deneysel olarak araştırmışlardır. Noktasal sıcaklık dağılımlarını yarı silindirik engelin açısal konumlarına ve engelin uzunluğu boyunca elde ederken; üç boyutlu vorteks yapılarını ve engele yakın kısımdaki gelişimlerini değerlendirmişlerdir. Young ve Vafai (1999) bir duvarına sıralı olarak yerleştirilmiş ısıtılan engellerin bulunduğu kanaldaki zorlanmış taşınımla ısı transferinin sayısal olarak analizini gerçekleştirmişlerdir. İncelemelerinde engellerin yüksekliğinin, genişliğinin, aralarındaki mesafenin, engellerin sayısının, ısı iletim katsayılarının, ısıtılma yöntemlerinin ve akışkanın Re sayısının değiştirilmesinin ısı transferi üzerindeki etkilerini çalışmışlardır. Sonuçlar, daha uzun bir engel gibi geometrik olarak farklı engellerin uygun şekilde yerleştirilmesinin, çevresindeki ısı transferini pasif olarak arttırmak için kullanılabileceğini göstermiştir. Karabulut ve Alnak (2024)

birbirine paralel dikey levhaların sol yüzeyi üzerinde iki adet yamuk geometrili sabit ısı akılı elektronik engel bileşenlerinin bulunduğu bir kanalda karışık taşınımla ısı transferi ve engeller etrafındaki akışkan hareketi sayısal olarak incelemişlerdir. Akış geçiş mesafesinin 4 ve

değiştirilmiş Richardson sayısının 150 olduğu değerler için kanalda kullanılan su akışkanının Nu_m sayısının 45^o açılı kanatçıklı durumda kanatçıksız duruma göre %1.54 daha fazla olduğu belirlemişlerdir. Özdemir ve ark. (2023) sabit ısı akılı silindirik ve dikdörtgen olmak üzere iki farklı engele sahip dik bir kanaldaki karışık taşınımın ısı transferi özelliklerini sayısal olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında akışkan olarak su kullanmışlardır. Nu sayısının engeller arası uzaklıkların ve doğal taşınım akımlarının yoğunluklarının artmasıyla genel itibariyle artış sergilediğini keşfetmişlerdir.

Bununla birlikte, günümüzde taşınımla ısı transferindeki güncel araştırma çalışmaları, ısı transferi parametrelerini iyileştirmek için yeni tasarımların araştırılmasına ya da yenilikçi akışkanların kullanılmasına yöneliktir. Gelecek yüzyılın teknolojisi olarak değerlendirilen nanoteknoloji ise bu teknolojik gelişmeyi temin edecek önemli bir adım olarak değerlendirilebilir. Nanoteknoloji alanında yapılan önemli çalışmalardan birisi de nanoakışkanların kullanılmasıdır.

Geleneksel ısı transferi akışkanlarının içerisine nano boyutta parçacıkların, belirli hacimsel oranlarda katılarak oluşturulan süspansiyonlara “nanoakışkan” denilmektedir. Nanoakışkan kullanılarak yapılan ısı transferi uygulamalarında; akışkan içerisine süspanse edilen parçacıklar akışkanın ısıl kapasitesini artırırlar. Parçacıklar arasındaki etkileşim ve çarpışmalar akış içerisinde çalkantılara ve türbülans şiddetinin artmasına neden olur. Böylece, daha yüksek ısı iletimi ile birlikte çalkantı şiddeti ve geniş yüzey alanı daha çok ısı transferine izin verir. Bu üstün özelliklerinden dolayı nanoakışkanlar özellikle yüksek ısı akılı yüzeylerden olan ısı transferi uygulamalarında olmak üzere, endüstri, tıp, uzay araştırmaları gibi birçok alanda kendisine uygulama alanı bulabilmektedir (Kılıç, 2018). Bu nedenle, doğal ve zorlanmış taşınım hareketlerinin birlikte teşkil edildiği karışık taşınım uygulamalarında da ısı transferini iyileştirici bir faktör olarak nanoakışkanların kullanıldığı çeşitli çalışmalara literatürde sınırlı olsa da rastlanmaktadır. Farklı akışkanların kullanılmasıyla yapılan çalışmalardan birinde You ve Li (2021) eğik bir kanaldaki karışık konveksiyonu incelemek amacıyla hibrit nanoakışkanlar kullanarak eşit ısı akısına sahip duvarların bulunduğu bir geometride sayısal analiz gerçekleştirmişlerdir. Akışın yönünün tersine çevrildiği durumda duvar yüzeyi sürtünmesinin ve hibrit nanoakışkandaki Nu sayısının, nanoparçacık hacim konsantrasyonuna ve basınç parametrelerine bağlı olduğunu belirlemişlerdir. Başka bir çalışmada, Al-Obaidi ve ark. (2019) tek bir yüzeyine ısı akısı verilen dik bir kanal için nanoakışkan kullanılmasının karışık konveksiyon davranışlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, farklı nanoakışkanların, Re sayısının ve geometrik boyutlardaki değişimlerin etkilerini sayısal olarak araştırmışlar ve SiO_2 nanoparçacıkları içeren nanoakışkanın en yüksek Nu sayısı değerine sahip olduğunu belirlemişlerdir. Algehyne ve ark. (2024) çalışmalarında Ag ve Al_2O_3‘ den oluşan bir hibrit nanoakışkanın bir germe levhası üzerindeki zorlanmış ve karışık konveksiyon akışlarının karşılaştırmalı analizi yapmışlardır. Mevcut çalışmalarda viskoz dağılım, ısı kaynağı ve Joule

ısıtması kullanılmaktadır. Zorlanmış taşınımda karışık taşınımla kıyaslandığında akım çizgilerinin daha yakın olduğu yani buna bağlı olarak değişimin daha fazla olduğu bulunmuştur. Mozafary ve ark. (2024) sayısal olarak kare bir boşlukta doğal, karışık ve zorlanmış konveksiyonun üç modunda Al_2O_3-Su nanoakışkanını kullanarak nanoparçacık hacim oranı, Richardson sayısı, Reynolds sayısı ve Rayleigh sayısı gibi bağımsız değişkenleri değiştirerek ısı transferi ve akış yapısını değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçlar, karışık konveksiyon için en yüksek ve en düşük Nu sayısı değerlerinin sırasıyla %17.68 ve %14.84 olduğunu ve zorlanmış konveksiyon için ise sırasıyla %30.46 ve %17.94 olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ghasemi ve Ranjbar (2025) dikey bir kanalda farklı konsantrasyonlarda Al_2O_3-Su nanoakışkan akışı için zorlanmış ve doğal konveksiyon etkileri altında entropi üretimini analiz etmişlerdir. Sonuçlar, sıcaklık farkının artmasıyla entropi üretiminin arttığını göstermiştir.

Bu çalışmada, dikey bir kanalda bulunan üst üste konumlandırılmış iki adet taç desenli ısınmış elemandan karışık taşınımla olan ısı transferi su ve Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılarak sayısal olarak değerlendirilmiştir. Kanal içerisinde karışık taşınımın iyileştirilmesi amacıyla kanalın sağ üst giriş kısmına 30^o ve 60^o açılı akış yönlendirici kanatçık yerleştirilmiştir. Sayısal hesaplamalar, sürekli, laminer ve iki boyutlu olarak süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Dikey kanaldaki taç desenli elemanlara sabit ısı akısı uygulanırken (1764,746 W/m^2-3529,492 W/m^2), kanalın taç elemanlar harici yüzeyleri ve kanatçık ise adyabatiktir. Kanalda kullanılan akışkanlar sıkıştırılamaz özellikte olup, kanala giriş sıcaklıkları 293 K' dir. Çalışma, Reynolds sayısı değerinin (Re) 500, değiştirilmiş Richardson sayısı aralığının (Ri*) 100-200 ve AGM (Akış Geçiş Oranı)'nin 2 ve 4 değerleri için yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırıldığında sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları belirlenmiştir. Sonuçlar, Ri* sayısına bağlı olarak farklı AGM ve kanatçık açısı değerlerinde üst ve alt desenin her biri için su ve Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılması durumlarında ortalama Nu sayıları (Nu_m) ve desen yüzey sıcaklıkları (T_s) göz önüne alınarak araştırılmıştır. Ayrıca, incelenen iki farklı AGM ve Ri* sayısı için kanatçıksız ve kanatçıklı durumlarda dikey kanallardaki hız ve sıcaklık konturu dağılımları Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılarak değerlendirilmiştir.

2. SAYISAL YÖNTEM

Kanalın üst girişinden üniform olarak sabit u_o hızı ile giren akışkan akımı sonucu meydana gelen zorlanmış taşınım ile ısınmış olan elemanlardan kaldırma kuvvetinin etkisiyle oluşan doğal taşınım akımlarıyla birlikte karışık taşınım oluşmaktadır. Kanalın girişinden itibaren yerleştirilen akış yönlendirici kanatçıklarla, hem akışkanın ısınmış engel elemanlarına doğru yönlendirilmesi hem de kanalın orta kısmında akışın hızlandırılarak zorlanmış taşınım hareketleriyle daha iyi bir karışık taşınım akımı oluşturulması amaçlanmıştır.

Kanaldaki karışık taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır. Ayrıklaştırma yöntemi olarak momentum denklemleri için "Second Order Upwind" yöntemi tercih edilmiştir. Sayısal çözümlerin yakınsaması için yakınsama kriteri momentum denklemi için 10^{-6} ve enerji denklemi için 10^{-7} olarak alınmıştır.

Bu çalışmada ele alınan akışın, zamandan bağımsız, sıkıştırılamaz, iki boyutlu ve laminer olduğu kabul edilirken, dikey olarak konumlandırılan kanalda yer çekimi kuvveti aşağı yönlü olarak modellenmiş ve kaldırma kuvvetinin etkisi de hesaba katılmıştır.

Kartezyen koordinatlarda zamandan bağımsız, sıkıştırılamaz akış için süreklilik, momentum ve enerjinin korunumu denklemleri aşağıda sunulmuştur (Özdemir ve ark., (2023)).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}=0 \tag{1}$$

Momentum denklemi

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)=-\frac{\partial P}{\partial x}+\mu\nabla^2 u \tag{2}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}\right)=-\frac{\partial P}{\partial y}+\mu\nabla^2 v-\rho g \tag{3}$$

Enerji denklemi

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}=\alpha\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right] \tag{4}$$

Çalışmada kullanılan boyutsuz sayılardan değiştirilmiş Grashof sayısı (Gr*), Richardson sayısı (Ri*) ve Reynolds sayısı (Re) aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$Gr^*=\frac{g\beta\dot{q}D^4}{k\nu^2} \tag{5}$$

$$Ri^*=\frac{Gr^*}{Re^2} \tag{6}$$

$$Re=\frac{u_o D}{\nu} \tag{7}$$

Burada, g yerçekimi ivmesi (m/s^2), β ısıl genleşme katsayısı (1/K), $\dot{q}$ ısı akısı (W/m^2), k ısı iletim katsayısı (W/mK), υ kinematik viskozite (m^2/s)' dir.

Elektronik engel elemanların yüzeylerindeki ortalama ısı taşınım katsayısı Eş. (8), Nusselt sayısı (Nu) ise Eş. (9) vasıtasıyla hesaplanacaktır.

$$h=\frac{\dot{q}}{(T_e-T_o)} \tag{8}$$

Nu sayısı, taşınımla ısı geçişinin iletimle ısı geçişine oranı olarak değerlendirilir.

$$-k\left(\frac{\partial T}{\partial n}\right)_s = h(T_e - T_o) \text{ ve } Nu = \frac{h\,(a+b)}{k} \quad (9)$$

Ortalama ısı taşınım katsayısı (h_m)

$$h_m = \frac{1}{(a+b)}\int_0^{(a+b)} hd(a+b) \quad (10)$$

Ortalama Nu sayısı (Nu_m) Eş. 8 ile hesaplanmaktadır.

$$Nu_m = \frac{\dot{q}D}{k(T_e - T_o)} = \frac{h_m(a+b)}{k} \quad (11)$$

Bu eşitliklerde, $\dot{q}$ ısı akısı, u_o dikey kanalın üst kısmından giren akışkanın hızı (m/s), T_e ısınmış engelin ortalama sıcaklığı iken T_o, su akışkanının kanal girişindeki sıcaklığıdır (K). (a+b) akışkanla temasta olan taç desenli yüzeyin karakteristik uzunluğu (m) ölçüsü iken; u ve v kartezyen koordinatlarda akışkanın x ve y yönlerindeki hızlarıdır (m/s). k akışkanın ısı iletim katsayısı (W/mK), h yüzey üzerindeki yerel ısı taşınım katsayısı (W/m^{2}K), n ise yüzeye dik yöndür.

Akış Geçiş Mesafesi (AGM), kanal genişliğinin kanatçık uzunluğuna oranı olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$AGM = \frac{W}{c} \quad (12)$$

Burada, W kanal genişliği (m) ve c ise akış yönlendirici kanatçık uzunluğudur (m).

Nanoakışkanın yoğunluğu

$$\rho_{na} = (1-\varphi)\rho_{na} + \varphi\rho_{np} \quad (13)$$

Nanoakışkanın ısı kapasitesi

$$(\rho c_p) = (1-\varphi)(\rho c_p)_{su} + \varphi(\rho c_p) \quad (14)$$

Nanoakışkanın ısıl genleşme katsayısı

$$(\rho\beta)_{na} = (1-\varphi)(\rho\beta)_{su} + \varphi(\rho\beta)_{np} \quad (15)$$

Nanoakışkanın ısıl iletkenliği

$$k_{na} = \frac{k_{np}+2k_{su}+2(k_{np}-k_{su})\varphi}{k_{np}+2k_{su}-2(k_{np}-k_{su})\varphi}k_{su} \quad (16)$$

Nanoakışkanın viskozitesi

$$\mu_{nf} = \mu_{su}(1 + 2.5\varphi) \quad (17)$$

Bu denklemlerde, ϕ ve ρ_{np} sırasıyla nanoakışkanın konsantrasyonu ve nanoparçacığın katı haldeki yoğunluğunu c_p özgül ısıyı belirtmektedir. na ve np sırasıyla nanoakışkan ve katı nanoparçacık' ı temsil etmektedir.

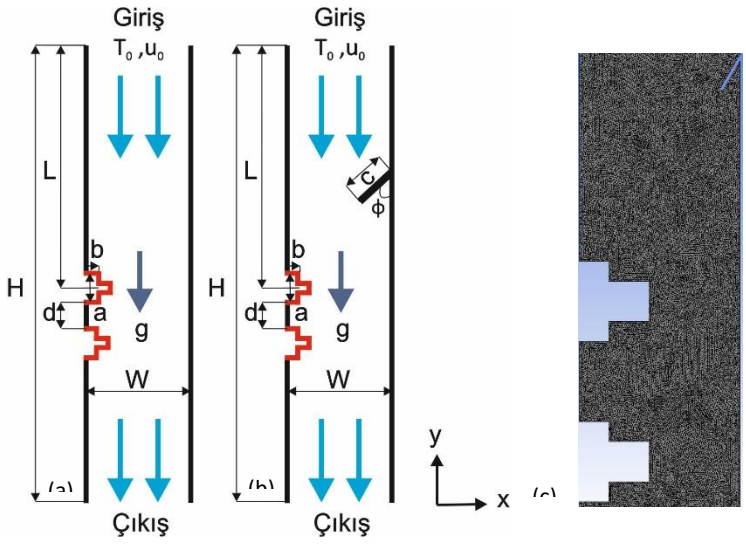
Çalışmada kullanılan su ve %2 hacimsel konsantrasyonlu nanoakışkana ait termofiziksel özellikler Çizelge 1'de gösterilmekte olup; denklem (13-17)' den faydalanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Su ve Nanoakışkana Ait Termofiziksel Özellikler (293 K)

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kgK)	μ (Ns/m^2)	β (1/K)
Su	0,613	998,2	4182	0,001003	0,0001430
Al_2O_3-su nanoakışkanı	0,65037	1188,236	3484,44	0,0010531	0,0001540

3. SAYISAL HESAPLAMA ALANI

Sayısal çözümlemede kullanılan hesaplama alanı Görsel 1 (a) ve (b)'de gösterilmektedir. Görsel 1 (a)'da kanatçığın olmadığı ve Görsel 1 (b)'de ise dikdörtgen kesitli kanalın dikey yüzeyleriyle farklı $\boldsymbol{\phi}$ açısı yapan kanatçığın olduğu kanal kesiti sunulmaktadır. Çalışmada yapılan kabuller ve sınır şartları Çizelge 2' de verilmektedir. Ayrıca, dikdörtgen kesitli dikey kanalın, birbirine paralel dik sol yüzeyine yerleştirilmiş olan iki adet taç şekilli ve sabit ısı akısına sahip elemanlara çalışmada uygulanacak sınır koşulları Görsel 1 üzerinde de belirtilirken; kanallara ve kanatçığa ait boyutsal ölçüler Çizelge 3'de sunulmaktadır. Bununla birlikte, sayısal hesaplamalarında kullanılan tetragonal (düzgün dörtyüzlü) ağ yapısı Görsel 1(c)'de gösterilmektedir.



Görsel 1. İkili Taç Desenli Dikey Bir Kanalda Karışık Taşınımlı Akış Geometrisi

(a) Kanatçıksız (b) Kanatçıklı (c) Ağ yapısı

Çizelge 2. Çalışmada Yapılan Kabuller ve Sınır Şartları

a)	Sürekli, iki boyutlu ve laminer akış hacmi kullanılmıştır
b)	Sıkıştırılamaz akışkan olarak su ve Al_2O_3-su nanoakışkanı kullanılmıştır
c)	Akışkanın ısıl özellikleri sabit olup, sıcaklıktan bağımsızdır
d)	Dikey kanalın taç desenler hariç ve kanatçığın yüzeyleri adyabatiktir
e)	Kanalın çıkış basıncı, atmosfer basıncına eşit olarak alınmıştır ($P_ç=P_{atm}$)
f)	Kanalın çıkışındaki sıcaklık farkının ihmal edilebilecek kadar az miktarda olduğu kabul edilerek $\partial T/\partial y=0$ olarak belirlenmiştir
g)	Kanal, kanatçık ve taç desenlerin yüzeylerinde kaymama sınır şartı olduğu ve bu nedenle bahsedilen yüzeylerde tüm hız bileşeni değerlerinin sıfır olduğu kabul edilmiştir
h)	Çatı desen yüzeylerine kanaldaki Re ve Ri* sayılarına bağlı olarak Gr* sayısına karşılık gelen sabit ısı akısı uygulanmıştır
i)	Akışkanların kanala giriş sıcaklıkları 293 K'dir
j)	Su için çalışılan Re=500' de akışkan giriş hızı 0,010048 m/s'dir
k)	Kanal girişinde "velocity inlet" ve çıkışında ise "pressure outlet" sınır şartı geçerlidir
l)	Dikey kanala aşağı yönlü yerçekimi ivmesi uygulanmıştır

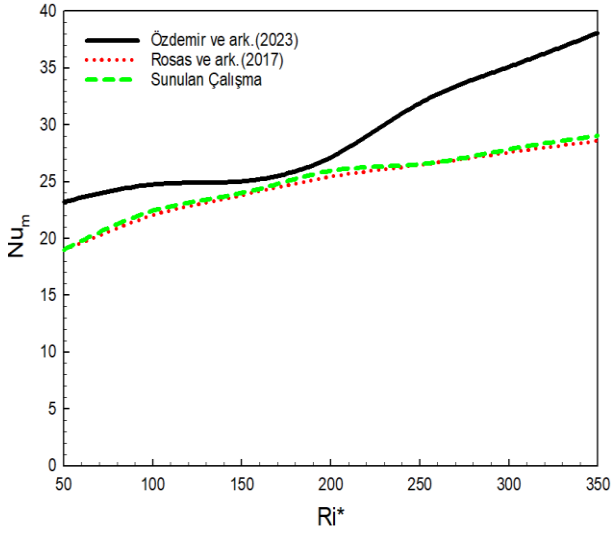
Çizelge 3. Dikey Kanala ve Kanatçığa Ait Boyutsal Ölçüler

Değişken	Ölçü (mm)
D	25
L	1000
W	50
H	1800
a	25
b	12,5
c	25-12,5
d	25
ϕ	30^o ve 60^o

4. SONUÇLARIN DOĞRULANMASI

Çalışmanın sonuçları, Rosas ve ark. (2017)' nın deneysel çalışması ile Özdemir ve ark. (2023) tarafından sonlu hacimler yöntemini kullanan FloEFD paket programıyla elde ettikleri sayısal sonuçlarla Görsel 2'de görüldüğü gibi karşılaştırılmıştır. Çalışmada kullanılan dikey kanalın yüksekliği 1,8 m ve genişliği ise 0,05 m iken; taç desenli engel üst kanal girişinden itibaren 1 m aşağıda tasarlanmıştır. Özdemir ve ark. (2023)' nın sayısal çalışmasıyla olan farklılıkların ağ sayısı ve yapısına bağlı olarak özellikle yüksek Ri* sayılarında oluşan girdap bölgelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sunulan çalışma ile Rosas ve ark. (2017)' nın deneysel

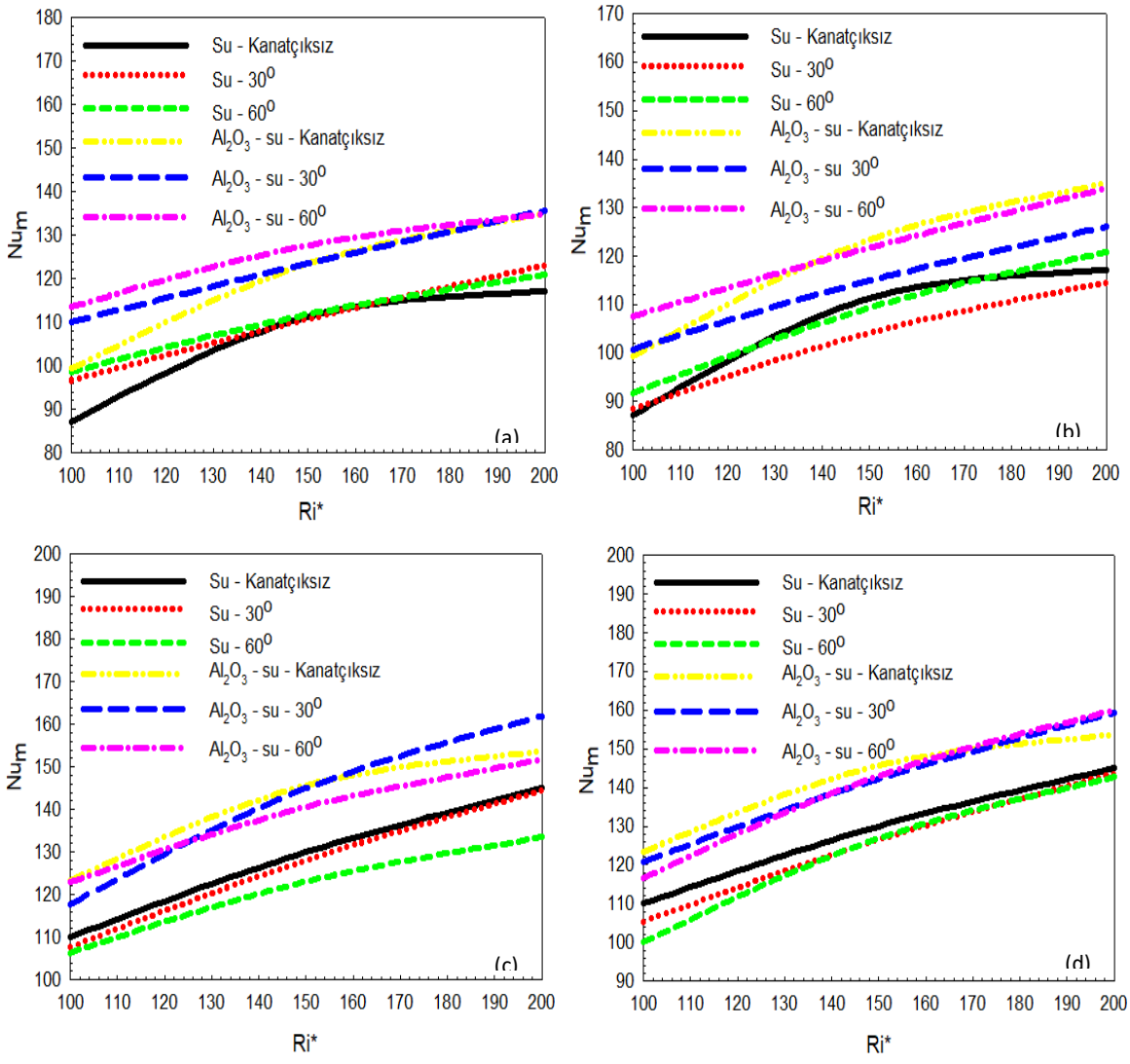
çalışmasının birbirleriyle oldukça uyumlu oldukları belirlenmiştir. Bu nedenle, çalışmanın doğru ve kabul edilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.



Görsel 2. Çalışmanın Sonuçlarının Doğrulanması

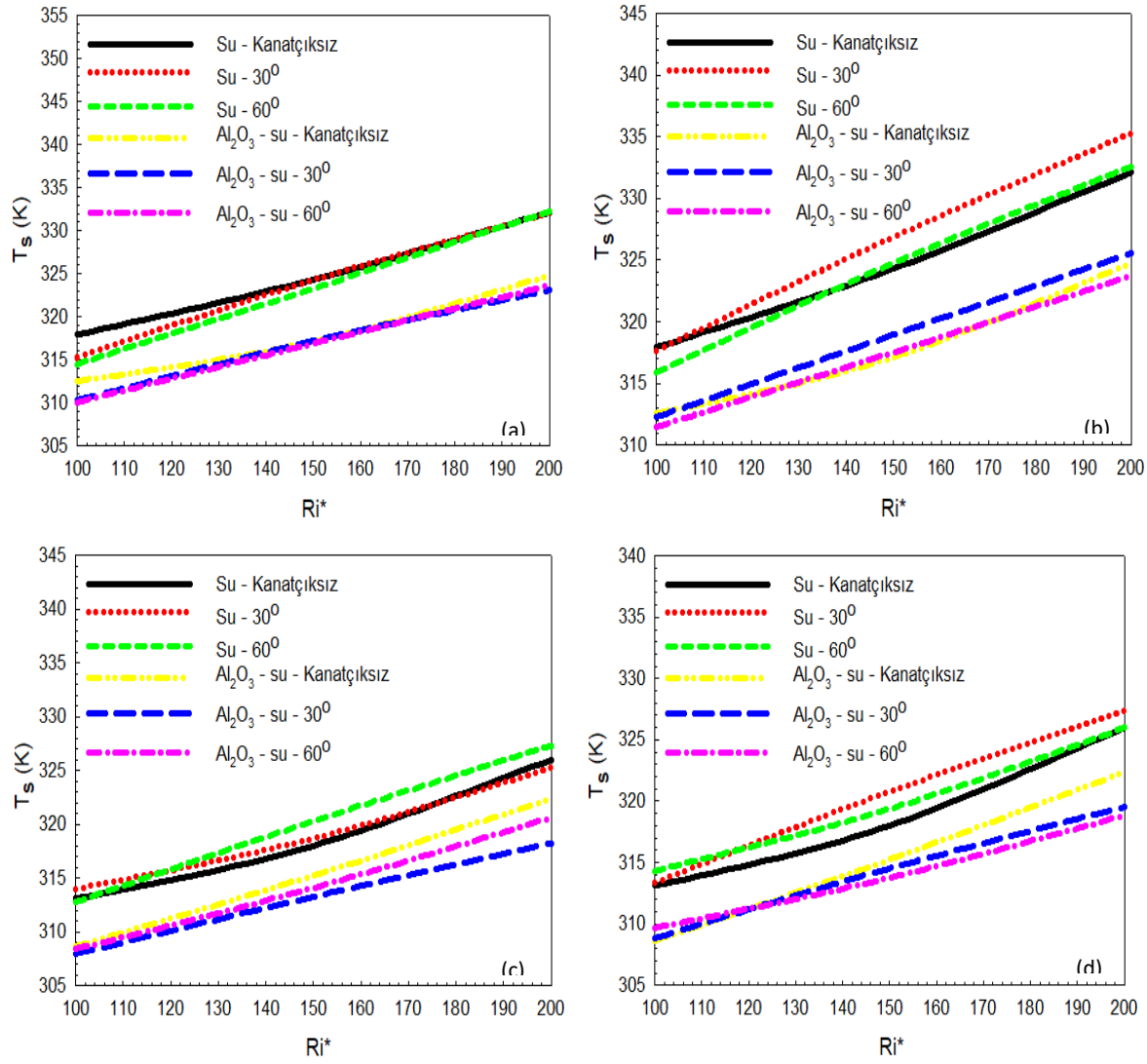
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE BULGULAR

Görsel 3'de sol tarafında alt-üst olmak üzere iki adet taç uçlu ısınmış nesne bulunan dikey bir kanalda kanatçıksız, 30^o ve 60^o olmak üzere farklı açılarda kanatçık bulunan karışık taşınımın (Re=500) ortalama Nu sayısının (Nu_m) Ri* sayısına bağlı değişimleri su ve Al_2O_3-su nanoakışkanı için (a) Sol alt-AGM=2 (b) Sol alt-AGM=4 (c) Sol üst-AGM=2 (d) Sol üst-AGM=4 oranları için gösterilmektedir. Kanala kanatçık eklenmesi, akışkanı üst taraftaki taç uçlu nesneye yönlendirirken; akışkanın kanalın alt tarafındaki nesne civarında oluşan doğal taşınım akımları nedeniyle Nu_m sayısının artmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, nanoakışkanın Nu_m sayısı değerlerinin suyunkinden daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca, artan Ri* sayısıyla doğal taşınım akımlarına bağlı kaldırma kuvvetlerinin artması nedeniyle artan karışık taşınım akımlarıyla Nu_m sayısı artış sergilemektedir. Üst taraftaki nesne için AGM=2 ve Ri*=150'de 60^o kanatçık açılı nanoakışkan kullanılması durumunda kanatçıksız su kullanılması durumuna göre Nu_m sayısı, Ri=100 değerindekinden %15,39 daha fazladır. Bunun yanı sıra, AGM=4 için kanatçık uzunluğu daha kısa olduğundan akışkan yönlendirilmesine bağlı olarak Nu_m sayısı değerleri daha az olmaktadır. Sol üst taraftaki taç uçlu ısınmış nesne incelendiğinde akışkanın kanatçıkla nesneye daha iyi yönlenmesi nedeniyle alt taraftaki nesne ile karşılaştırıldığında daha yüksek Nu_m sayısı değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Ri* sayısı arttığında doğal taşınım akımlarını engelleyici nesne olmadığından karışık taşınım akımlarıyla Nu_m sayısı değerlerinde artış olduğu görülmektedir.



Görsel 3. İkili Taç Uçlu Yüzeyler Boyunca Karışık Taşınımın Nu_m Sayısının Ri* Sayısıyla Değişimi (a) Sol Alt-AGM=2 (b) Sol Alt-AGM=4 (c) Sol Üst-AGM=2 (d) Sol Üst-AGM=4

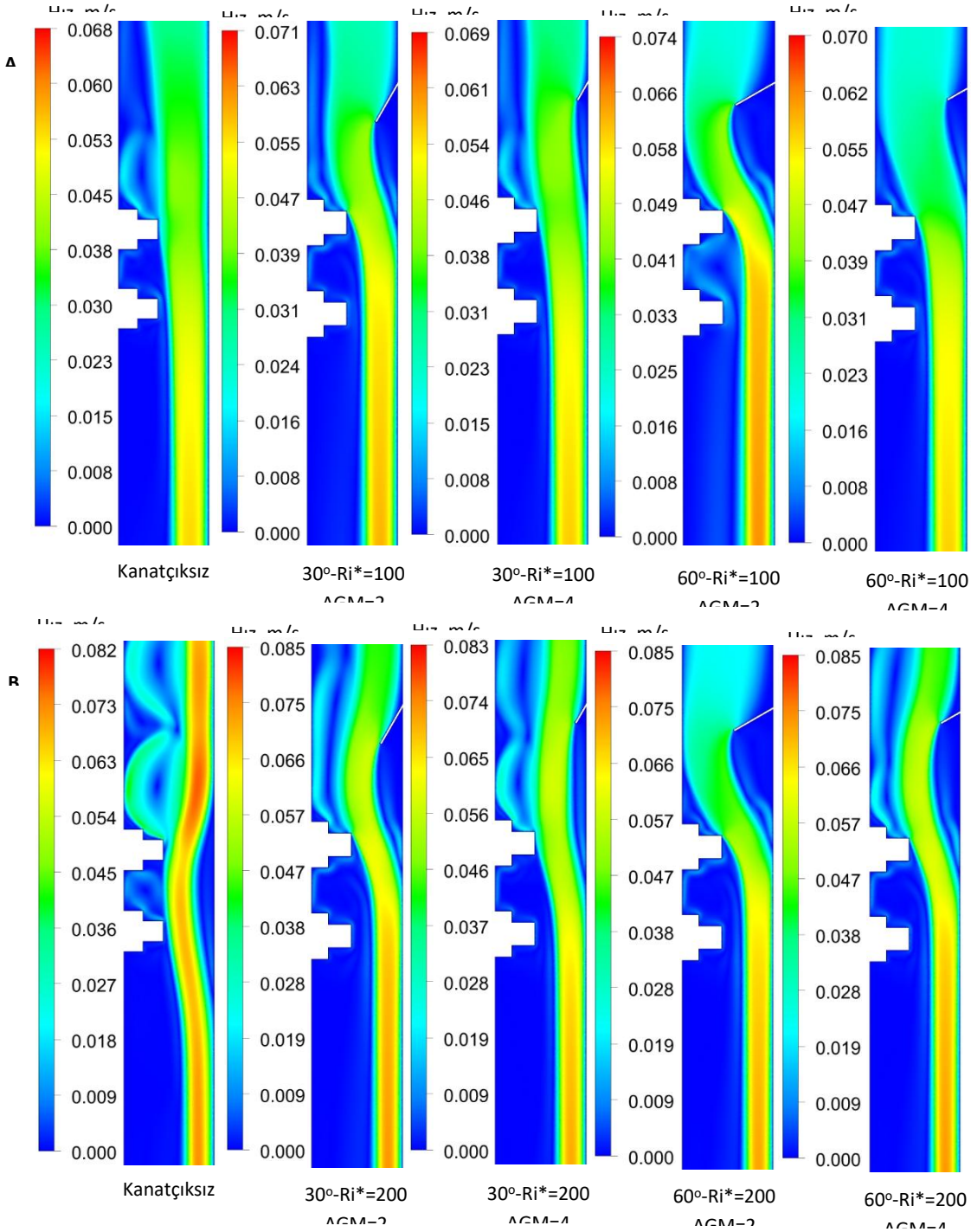
Sol tarafında alt-üst olmak üzere iki adet taç uçlu ısınmış nesne bulunan dikey bir kanalda kanatçıksız, 30^o ve 60^o olmak üzere farklı açılarda kanatçık bulunan karışık taşınımın (Re=500) yüzey sıcaklığının (T_s) Ri* sayısına bağlı değişimleri su ve Al_2O_3-su nanoakışkanı için (a) Sol alt-AGM=2 (b) Sol alt-AGM=4 (c) Sol üst-AGM=2 (d) Sol üst-AGM=4 oranları için Görsel 4'de sunulmaktadır. Genel itibariyle hem alt hem de üst taç uçlu desenli yüzeyde Ri* sayısının artışına bağlı akışkana olan ısı transferinin artışı nedeniyle yüzey sıcaklıklarında artışlar görülmektedir. Bununla birlikte, nanoakışkan için yüzey sıcaklıkları daha düşük düzeyde iken kısa kanatçık durumu olan AGM=4 için daha düşük yüzey sıcaklıklarına ulaşılmaktadır.



Görsel 4. İkili Taç Uçlu Yüzeyler Boyunca Karışık Taşınımın Ortalama Yüzey Sıcaklığının (T_s) Ri* Sayısıyla Değişimi (a) Sol Alt-AGM=2 (b) Sol Alt-AGM=4 (c) Sol Üst-AGM=2 (d) Sol Üst-AGM=4

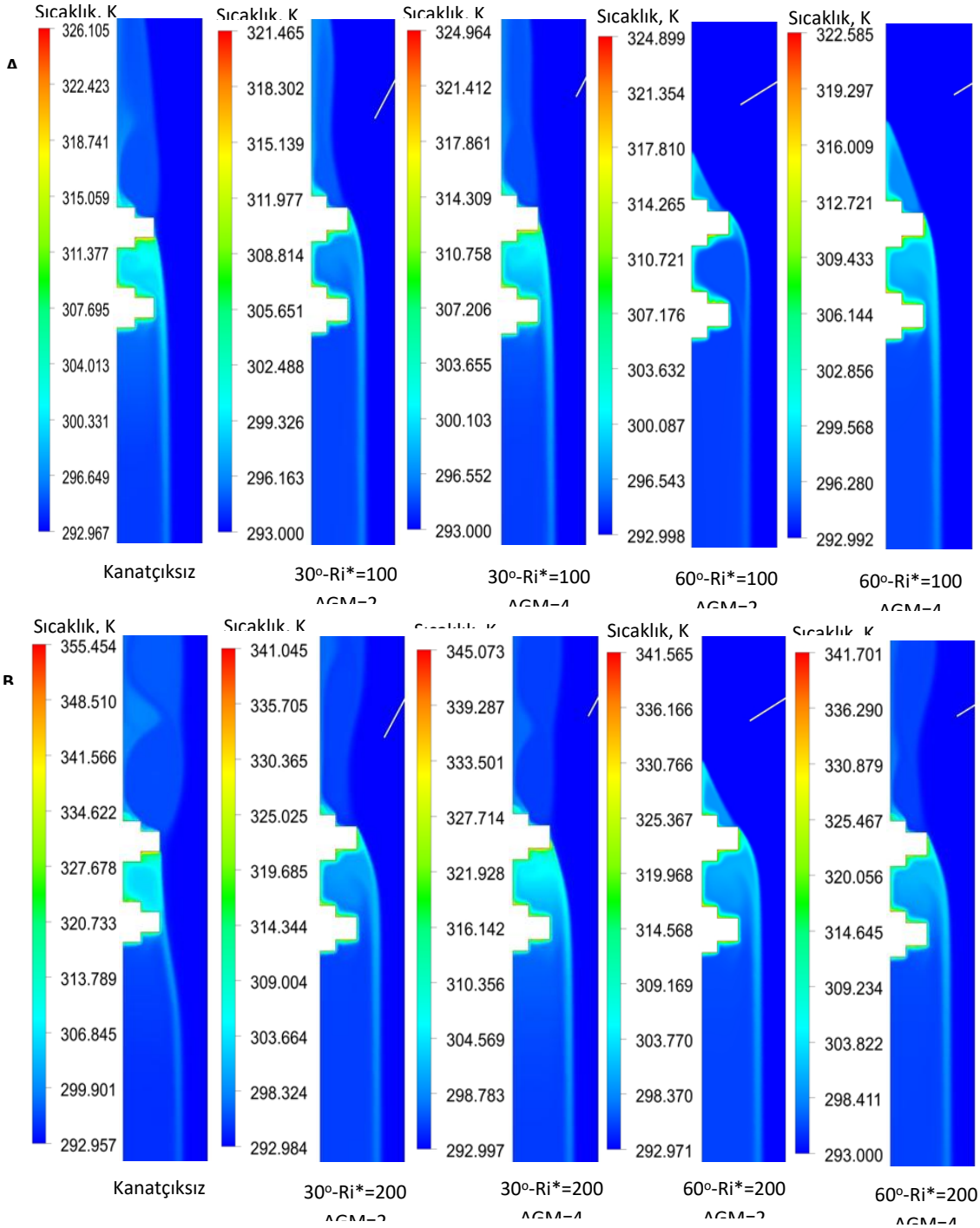
Görsel 5'de A-Ri*=100 ve B-Ri*=200 değerleri için kanatçıksız, 30^o ve 60^o kanatçık açılı ve Re=500 değerinde karışık taşınım akımlı dikey kanallarda farklı AGM oranları (2 ve 4) için Al_2O_3-su nanoakışkanının hız konturu dağılımları sunulmaktadır. Kanatçıksız ve Ri* sayısının 100 değerinde üst taç uçlu desen kısmında doğal taşınım akımı sonucu hız değişikliğinin olduğu kısım görülmektedir. Bununla birlikte, kanala kanatçık eklenmesiyle akışkanın taç uçlu desene yönlendirilmesiyle nesne üzerindeki akışkan hareketi iyileştirilmektedir ve özellikle 60^o kanatçık açılı durumlarda ve AGM=2 için yönlendirmenin daha iyi olmasına bağlı olarak akışkan hareketliliği artmaktadır. Ri* sayısı 200 değerine çıkarıldığında ise özellikle üst taç uçlu desen etrafındaki doğal taşınım kaynaklı akışkan hareketliliği artmaktadır. Bununla birlikte, kanal

içerisinde artan doğal taşınım akımlarına bağlı olarak karışık taşınım akımlarında da hız konturu dağılımlarında görüldüğü gibi iyileşme elde edilmektedir.



Görsel 5. A-Ri*=100 ve B-Ri*=200 Değerleri İçin Kanatçıksız, 30º ve 60º Kanatçık Açılı Kanallarda Al_2O_3-su Nanoakışkanının Hız Konturu Dağılımları

A-Ri*=100 ve B-Ri*=200 değerleri için kanatçıksız, 30^o ve 60^o kanatçık açılı ve Re=500 değerinde karışık taşınım akımlı dikey kanallarda farklı AGM oranları için Al_2O_3-su nanoakışkanının sıcaklık konturu dağılımları Görsel 6'da verilmektedir. Kanatçıksız durumlarda özellikle taç uçlu desen aralarında karışık taşınım hareketlerinin kısıtlanması nedeniyle sıcak akışkan bölgeleri oluşmaktadır. Bunun yanında, kanala kanatçık eklenip AGM mesafesinin 2 olduğu her iki açı durumunda desenler arası akışkan hareketlendirilebildiğinden sıcak akışkan bölgesinin sıcaklığında azalma olduğu kontur dağılımından görülebilmektedir. Ri* sayısı artırıldığında ise kontur dağılımdaki değişiklikler daha belirgin bir hal almaktadır.



Görsel 6. A-Ri*=100 ve B-Ri*=200 Değerleri İçin Kanatçıksız, 30º ve 60º Kanatçık Açılı Kanallarda Al_2O_3-su Nanoakışkanının Sıcaklık Konturu Dağılımları

6. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kanala kanatçık eklenmesi, akışkanı üst taraftaki taç uçlu nesneye yönlendirirken; akışkanın kanalın alt tarafındaki nesne civarında oluşan doğal taşınım akımları nedeniyle Nu_m sayısının artmasını sağlamaktadır.

- Su akışkanının Nu_m sayısı değerleri nanoakışkanınkinden daha fazla olduğu görülmektedir.

- Artan Ri* sayısıyla doğal taşınım akımlarına bağlı kaldırma kuvvetlerinin artması nedeniyle artan karışık taşınım akımlarıyla Nu_m sayısı artış sergilemektedir.

- AGM=2 ve Ri*=150 için 60^o kanatçık açılı nanoakışkan kullanılması durumunda kanatçıksız su kullanılması durumuna göre Nu_m sayısı, Ri=100 değerindekinden %15,39 daha fazladır.

- AGM=4 için kanatçık uzunluğu daha kısa olduğundan akışkan yönlendirilmesine bağlı olarak Nu_m sayısı değerleri daha az olmaktadır.

- Sol üst taraftaki taç uçlu ısınmış nesne incelendiğinde akışkanın kanatçıkla nesneye daha iyi yönlenmesi nedeniyle alt taraftaki nesne ile karşılaştırıldığında daha yüksek Nu_m sayısı değerlerine ulaşılmaktadır.

- Ri* sayısı arttığında doğal taşınım akımlarını engelleyici nesne olmadığından karışık taşınım akımlarıyla Nu_m sayısı değerlerinde artış olduğu görülmektedir.

- Genel itibariyle hem alt hem de üst taç uçlu desenli yüzeyde Ri* sayısının artışına bağlı akışkana olan ısı transferinin artışı nedeniyle yüzey sıcaklıklarında artışlar görülmektedir.

-Nanoakışkan için yüzey sıcaklıkları daha düşük düzeyde iken kısa kanatçık durumu olan AGM=4 için daha düşük yüzey sıcaklıklarına ulaşılmaktadır.

- Hız konturu dağılımları değerlendirildiğinde, kanatçıksız ve Ri* sayısının 100 değerinde üst taç uçlu desen kısmında doğal taşınım akımı sonucu hız değişikliğinin olduğu kısım görülmektedir. Bununla birlikte, kanala kanatçık eklenmesiyle akışkanın taç uçlu desene yönlendirilmesiyle nesne üzerindeki akışkan hareketi iyileştirilmektedir ve özellikle 60^o kanatçık açılı durumlarda ve AGM=2 için yönlendirmenin daha iyi olmasına bağlı olarak akışkan hareketliliği artmaktadır.

- Ri* sayısı 200 değerine çıkarıldığında ise özellikle üst taç uçlu desen etrafındaki doğal taşınım kaynaklı akışkan hareketliliği artmaktadır. Kanal içerisinde artan doğal taşınım akımlarına bağlı olarak karışık taşınım akımlarında da hız konturu dağılımlarında görüldüğü gibi iyileşme elde edilmektedir.

- Sıcaklık konturu dağılımları incelendiğinde, kanatçıksız durumlarda özellikle taç uçlu desen aralarında karışık taşınım hareketlerinin kısıtlanması nedeniyle sıcak akışkan bölgeleri oluşmaktadır.

- Kanala kanatçık eklenip AGM mesafesinin 2 olduğu her iki açı durumunda desenler arası akışkan hareketlendirilebildiğinden sıcak akışkan bölgesinin sıcaklığında azalma olduğu kontur dağılımından görülebilmektedir. Ri* sayısı artırıldığında ise kontur dağılımdaki değişiklikler daha belirgin bir hal almaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından STBMYO-2024-005 proje numarası ile desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

Algehyne, E.A., Alamrani, F.M., Alrabaiah, H. et al. Comparative Analysis on the Forced and Mixed Convection in A Hybrid Nanofluid Flow Over A Stretching Surface: A Numerical Analysis. J Therm Anal Calorim., 2024.

Alnak, D.E., Karabulut, K. Investigation of Heat Transfer Increment in Electronic System Surfaces By Different Air Jet Impingement Applications, Journal of Engineering Thermophysics, 33 (1), 161-185, 2024.

Al-Obaidi, A.A., Salman, A.J., Yousif, A.R., Al-Mamoori, D.H., Mussa, M.H., Gaaz, T.S., Kadhum, A.A. Takriff, M.S., Al-Amiery, A.A. Characterization the Effects of Nanofluids and Heating on Flow in A Baffled Vertical Channel, International Journal of Mechanical and Materials Engineering, 14, 11, 2019.

Auletta A., Manca O., Morrone B., Naso V., Heat Transfer Enhancement By the Chimney Effect in A Vertical Isoflux Channel, International Journal of Heat and Mass Transfer, 44 (22), 4345-4357, 2000.

Ghasemi S.E., Ranjbar A.A. Entropy Generation Study on Natural and Forced Convection of Nanofluid Flow in Vertical Channels, Engineering Reports, 7, e13096, 2025.

Karabulut, K., Alnak, Y. Dikey Bir Kanalda Bulunan Farklı Şekilli Elektronik Eleman Çiftinden Olan Taşınım Isı Transferinin Değerlendirilmesi, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: 204, sf. 1-10, Eylül-Ekim 2024.

Kılıç, M. Elektronik Sistemlerin Soğutulmasında Nanoakışkanlar ve Çarpan Jetlerin Müşterek Etkisinin İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33 (3), 121-132, 2018.

Moukalled, F., Doughan, A., Acharya, S. Parametric Study of Mixed Convection in Channels with Concave and Convex Surfaces, International Journal of Heat and Mass Transfer, 43, 1947-1963, 2000.

Mozafary B, Akbar A, Arani A, Sheıkhzadeh Nooshabadi GA, Salimi M. Brownian Motion Models Effect on the Nanofluid Fluid Flow and Heat Transfer in the Natural, Mixed, and Forced Convection. Journal of Thermal Engineering. January 10 (1), 88-100, 2024.

Özdemir, S., Kılıç, M., Çalışır, T., Başkaya, Ş. Numerical Investigation of Enhancing Mixed Convection Heat Transfer By Using Semicylindrical Obstacles in A Vertical Channel, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 38 (3), 1805-1820, 2023.

Papanicolaou, E., Jaluria, Y. Mixed Convection From A Localized Heat Source in A Cavity with Conducting Walls: A Numerical Study, Numerical Heat Transfer, Part A (23), 463-484, 1993.

Rao, G., Narasimham, G., Laminar Conjugate Mixed Convection in A Vertical Channel with Heat Generating Components, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, 3561-3574, 2007.

Rosas, I.Y., Treviño, C., Suástegui, L. Experimental Study of Mixed Convection Heat Transfer in A Vertical Channel with A One-Sided Semi-Cylindrical Constriction with Prescribed Heat Flux, International Journal of Heat and Fluid Flow, 67, 155-167, 2017.

Young, T., Vafai, K., Experimental and Numerical Investigation of Forced Convective Characteristics of Arrays of Channel Mounted Obstacles, ASME Journal Heat Transfer, 121, 34-42, 1999.

You X., Li S., Fully Developed Opposing Mixed Convection Flow in the Inclined Channel Filled with A Hybrid Nanofluid, Nanomaterials, 11, 1107, 2021.

ATIK SIKIŞTIRMA SİSTEMİ

HİLAL SEVGİLİ
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
hilalsevgili77@gmail.com 0009-0002-8116-501
GÖKDENİZ KILIÇ
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
gkdnzklc@gmail.com 0009-0003-0427-4105
FARUK YEĞİN
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
faruk_yegin_78@hotmail.com 0009-0004-7718-5207
MUSTAFA BUĞDAY
KARABÜK ÜNİVERSİTESİ
mustafabugday@karabuk.edu.tr 0000-0003-4413-50

ÖZET

Günümüzde nüfus artışı ve tüketim alışkanlıkları, atık miktarında belirgin bir yükselişe yol açmaktadır. Bu durum, çevresel sorunlara ek olarak ekonomik yükleri de artırmaktadır. Atıkların taşınması ve depolanması için geniş alanlara ihtiyaç duyulması ve yüksek maliyetlerin ortaya çıkması, verimli çözümler geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Kompaktör sistemleri, bu süreçleri optimize ederek hem lojistik hem de depolama alanında önemli avantajlar sunmaktadır. Bu proje kapsamında, pnömatik sistemler kullanılarak atık hacminin azaltılması hedeflenmektedir. Yüksek basınçlı silindirler, atıkları sıkıştırarak hacimlerini küçültecek ve böylece depolama kapasitesini artıracaktır. Bunun sonucunda çöp konteynerlerinin dolum süresi uzayacak, taşıma maliyetleri düşecek ve karbon salınımı azalacaktır. Bireylerin çöpleri her gün dışarı çıkarmasının önüne geçilerek enerji ve vakitten de tasarruf edilebilmesi amaçlanmıştır. Yaşam alanlarında Bulunacak bu atık sıkıştırma sistemi aracılığıyla pek çok yerden verim sağlanması amaçlanmaktadır. Sistem, basınç sensörleri ve elektro-pnömatik kontrol birimleriyle entegre edilecektir. Sensörlerden gelen veriler doğrultusunda valf mekanizmaları, sıkıştırma sürecini optimize edecek ve enerji tasarrufu sağlayacaktır. Aynı zamanda, geri dönüşüm sürecine entegrasyon sayesinde atık malzemelerin ayrıştırılması kolaylaşarak, geri kazanım oranları artırılacaktır.

Anahtar Kelimeler : Atık, Pnömatik, Depolama

1. GİRİŞ

Atık yönetimi, çağımızın en önemli çevresel ve ekonomik problemlerinden biri haline gelmiştir. Günümüzde kişi başına düşen atık miktarı her geçen yıl artmakta ve buna bağlı olarak belediyelerin ve özel sektörün atık toplama, taşıma ve depolama yükü ağırlaşmaktadır. Bu bağlamda, yerel yönetimlerin karşılaştığı en temel sorunlardan biri de çöp konteynerlerinin kısa sürede dolması ve sık aralıklarla boşaltılması gerekliliğidir. Bu durum hem yakıt hem de iş gücü maliyetlerini artırmakta; ayrıca zaman ve çevre açısından verimsizliğe neden olmaktadır. Çöp sıkıştırma sistemleri, bu tür problemlerin önüne geçebilmek için geliştirilmiş modern çözümlerdir. Geliştirilen bu projede amaç, pnömatik prensipler ile çalışan bir çöp sıkıştırma mekanizması tasarlayarak bu sistemlerin yerleşim yerlerinde, sitelerde veya büyük tesislerde kullanılabilecek kompakt ve verimli bir modelini oluşturmaktır. Tasarlanan sistemin temel hedefi, hacimce fazla yer kaplayan atıkları daha küçük bir alana sığdırmak ve böylece daha uzun süreli kullanım, daha seyrek boşaltma işlemi ve daha düşük taşıma maliyeti elde etmektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Mekanik ve Pnömatik Bileşenler

Bu sistemde kullanılan temel bileşenler arasında dikey konumlandırılmış bir pnömatik silindir, kılavuz raylar, bir elektro-pnömatik valf, basınç sensörü ve bir elektrik kontrol panosu yer almaktadır. Pnömatik silindir, atık haznesine dik doğrultuda yerleştirilmiş olup, yukarıdan aşağıya hareket ederek çöpü baskı kuvvetiyle sıkıştırmaktadır. Raylar, silindirin doğrusal ve dengeli bir şekilde hareket etmesini sağlamakta, böylece sıkıştırma işleminin mekanik güvenilirliği artırılmaktadır. Silindirin strok mesafesi ve konumu, üzerine yerleştirilen bir mesafe sensörü ile tespit edilmiştir. Bu sensör, sıkıştırma işleminin hangi evrede olduğunu tespit ederek, valflerin açılıp kapanması gerektiği anı kontrol panosuna bildirmektedir. Kullanılan valfler, hava akışını yöneterek silindirin yukarı-aşağı hareketini kontrol etmektedir.

2.2. Kontrol Sistemi ve Otomasyon

Sistemin kontrolü, elektrik panosu içerisindeki bir otomasyon ünitesi (röle devresi) ile sağlanmaktadır. Kontrol birimi, sensörlerden gelen bilgiyi analiz ederek, pnömatik valfleri yönetmekte ve silindirin doğru zamanda çalışmasını sağlamaktadır. Kullanılan elektro-pnömatik yapı sayesinde sistem enerji verimliliği sağlamakta ve yalnızca gerekli anlarda hava tüketimi gerçekleşmektedir. İlk çalıştırma sırasında sistem, çöp haznesinin doluluk seviyesini kontrol etmekte, belirli bir sınırın aşılması durumunda sıkıştırma işlemini başlatmaktadır. Silindir alt noktaya ulaştığında bir süre basınç uygulayarak sıkıştırma işlemini tamamlamakta, ardından valf kapanarak silindir yukarı dönmektedir. Bu işlem tamamen otomatik bir döngü içerisinde gerçekleşmektedir.

2.3 Kurulum Süreci

Projenin uygulama aşamasında sistemin mekanik, pnömatik ve elektriksel alt yapısı dikkatli bir şekilde oluşturulmuştur. İlk olarak, sistemin taşıyıcı iskeleti 4 adet dikey çelik profil kullanılarak oluşturulmuş ve sağlam bir taban üzerine sabitlenmiştir. Bu yapı, pnömatik silindirin çalışması sırasında oluşabilecek kuvvetleri güvenli bir şekilde karşılayacak şekilde tasarlanmıştır. Silindir, yapının orta noktasına dikey olarak monte edilmiştir. Kullanılan pnömatik silindir, endüstriyel tip olup sıkıştırma kuvveti ve strok mesafesi sistem gereksinimlerine uygun olarak seçilmiştir. Sensörler, silindirin üst ve alt konumlarını algılayacak şekilde dikkatli biçimde yerleştirilmiştir. Kullanılan konum sensörleri, pistonun sıkıştırma ve geri çekilme hareketlerinin başlangıç ve bitiş noktalarını tespit ederek kontrol sistemine geri bildirim sağlar. Bu bilgiler doğrultusunda sistemde yer alan elektro-pnömatik valfler, hava akışını yönlendirerek silindirin aşağı ya da yukarı hareket etmesini sağlar. Pnömatik devrenin kontrolü için bir elektrik panosu hazırlanmış ve pano içerisine valfler, röleler, sigortalar ve butonlar yerleştirilmiştir. Ayrıca, sensörlerden gelen sinyallerin ve valf komutlarının yönetildiği röle devreleri pano içerisine entegre edilmiştir. Bağlantılar dikkatlice yapılarak kısa devre ve kaçak ihtimaline karşı testler uygulanmıştır. Hava beslemesi, atölyede yer alan harici bir kompresör yardımıyla sağlanmıştır. Hava hattı, pnömatik hortumlar ile valflere ve silindire yönlendirilmiştir. Tüm bağlantılarda sızdırmazlık elemanları (örneğin teflon bant, hızlı bağlantı rekorları) kullanılarak sistemin verimli çalışması sağlanmıştır. Kurulum tamamlandıktan sonra sistem test edilmiştir. Yapılan testlerde, çöp haznesine çeşitli hacimlerde atık materyal yerleştirilmiş ve silindirin sıkıştırma performansı gözlemlenmiştir. Silindir hareketinin başlangıç ve bitiş konumlarında sensörler sorunsuz şekilde tetiklenmiş, sıkıştırma süreci başarıyla tamamlanmıştır. Döngü sonunda silindir otomatik olarak geri çekilmiş ve sistem yeni bir sıkıştırmaya hazır hale gelmiştir. Kurulum sürecinin sonunda sistemin işlevsel olarak çalıştığı, tasarlanan otomasyon mantığının doğrulandığı ve tüm bileşenlerin uyumlu şekilde entegre edildiği görülmüştür. Uygulama hem akademik hem de endüstriyel kullanım için örnek bir otomasyon uygulaması niteliği taşımaktadır.



a) **b)**

Şekil 1. Pnömatik çöp sıkıştırma sisteminin a) genel görünümü b) kontrolünde kullanılan elektrik panosu

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan uygulama, pnömatik sistemlerin çöp sıkıştırma gibi çevreye duyarlı projelerde etkin bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Sistemin otomasyonla çalışması sayesinde kullanıcı müdahalesine gerek kalmadan sürekli ve güvenli bir çalışma sağlanmıştır. Sensör-veri tabanlı kontrol mekanizması, gereksiz hava tüketiminin önüne geçerek sistemin enerji verimliliğini artırmıştır. Ayrıca, çöp hacminin yüksek oranda azaltılması sayesinde konteynerlerin dolum süresi uzatılmış, taşıma sıklığı düşürülmüş ve operasyonel maliyetlerde gözle görülür azalma sağlanmıştır. Geliştirilen bu sistemin hem evsel hem de endüstriyel alanlarda kullanılabilir olması, yaygın uygulama potansiyelini artırmaktadır. Ayrıca, geri dönüşüm kutuları ile entegre edilmesi durumunda, ayrıştırılmış atıkların daha verimli işlenmesi mümkün hale gelebilecektir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, pnömatik sistemlerin sunduğu güçlü mekanik kuvvet ve otomasyonun avantajları birleştirilerek etkili ve sürdürülebilir bir çöp sıkıştırma sistemi tasarlanmıştır. Uygulanan sistem düşük maliyetli, kullanıcı dostu ve yüksek performanslı bir model sunmaktadır. Atık yönetimi

süreçlerinde verimlilik, enerji tasarrufu ve karbon ayak izinin azaltılması gibi çok yönlü katkılar sağlamaktadır. Gelecekte yapılacak geliştirmeler arasında sistemin güneş enerjisi ile çalıştırılması, IoT tabanlı izleme sistemlerinin entegre edilmesi, mobil uygulama ile uzaktan kontrol gibi iyileştirmeler yer alabilir. Ayrıca çoklu konteyner yapıları ile daha fazla kapasiteye sahip modüller oluşturularak sanayi tipi uygulamalara ölçeklenebilir hale getirilebilir.

KAYNAKÇA

1. Zaim, A., Aras, H. Pnömatik Sistemlerde Enerji Verimliliği, Mühendis ve Makina Dergisi, 2020, Cilt 61, Sayı 717
2. Gürcan, C., Açıksöz**, S.** Akıllı Atık Yönetimi ve Örnek Uygulamalar, Kent Akademisi Dergisi, 2020, Cilt 13, Sayı 3.
3. Akıncı, N. Kentsel Katı Atık Yönetim Sistemlerinin Oluşturulmasında Farklı Karar Verme Tekniklerinin Kullanımı, Anadolu Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
4. Baran, A., Arıkan, O. A., Yıldız, Ş., Demir, İ., Sarı, H., Altınbaş, M., Balahorli, V. Katı Atık Düzenli Depolama Tesisleri İşletimi El Kitabı, İSTAÇ Yayınları, 2015.

RENKLİ MALZEME AYRIŞTIRMA SİSTEMİ İÇİN KONVEYÖR BANT TASARIMI

Halil Kaya Şanlı
Karabük Üniversitesi
sanlihalil60@gmail.com 0009-0000-7051-9666
İdris Ak
Karabük Üniversitesi
idrisak2003@gmail.com 0009-0003-9015-9698
Muhammed Ferhat Akmeşe
Karabük Üniversitesi
ferhatakmese12@gmail.com 0009-0008-7715-5883
Mustafa Buğday
Karabük Üniversitesi
mustafabugday@karabuk.edu.tr 0000-0003-4413-509X

ÖZET
Bu projede, renkli malzemelerin otomatik olarak ayrıştırılması amacıyla bir konveyör bant sistemi tasarlanmıştır. Sistem, TCS3200 renk sensörü ve Arduino mikrodenetleyicisi kullanarak malzemelerin renklerine göre ayrılmasını sağlar. Renk sensöründen alınan veriler, Arduino mikrodenetleyicisi tarafından işlenir ve uygun renkteki malzemeleri hidrolik silindirlere yönlendirecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sistemde ayrıca, pnömatik ve hidrolik bileşenler, malzeme ayrıştırma işlemini otomatikleştiren kritik araçlar olarak kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, endüstriyel üretim süreçlerinde verimliliği artırmak, manuel müdahaleyi azaltmak ve üretim hızını yükseltmektir. Bu bağlamda, renk sensörünün doğruluğu optimize edilmiş ve konveyör bantta doğru renkli malzemelerin ayrılmasını sağlamıştır. Sistem testlerinde, renk algılama ve malzeme ayrıştırma işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Projenin yeniliği, endüstriyel otomasyon sistemlerine entegre edilen renk sensörü ve hidrolik/pnömatik sistemlerin entegrasyonunu içeriyor. Bu sayede, üretim hattındaki verimlilik artırılmış ve manuel müdahale gereksinimi önemli ölçüde azaltılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Konveyör bant, renk sensörü, Arduino, hidrolik sistem, otomatik malzeme ayrıştırma

1.GİRİŞ

Bu proje, endüstriyel üretim hatlarında kullanılan ürünlerin renklerine göre otomatik olarak ayrıştırılmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Renk ayrımı, birçok sektörde kalite kontrol ve ürün gruplandırması açısından önemlidir. Ancak bu işlemlerin manuel yapılması hem zaman kaybına hem de hatalara neden olmaktadır. Bu nedenle, konveyör bantlı ve renk algılama temelli bir sistem tasarlanarak, insan müdahalesine gerek kalmadan renkli nesnelerin ayrıştırılması hedeflenmiştir.

2. Kullanılan Malzeme ve Teknolojiler

Projede temel olarak şu bileşenler kullanılmıştır:

- TCS3200 renk sensörü: Nesnelerin renklerini algılamak için kullanılmıştır.
- Arduino Uno: Tüm sistemi kontrol eden mikrodenetleyici kartıdır.
- Röle modülü: Arduino'nun düşük güçlü sinyallerini valflere iletmek için kullanılmıştır.
- Elektrovalf ve pnömatik silindir: Belirlenen renkli nesnelerin konveyör üzerinden itilmesini sağlar.
- HC-SR04 ultrasonik sensör: Nesnelerin sistemde olup olmadığını algılar.
- DC motor ve konveyör bant: Nesnelerin sistem içinde ilerlemesini sağlar.

Bu parçalar bir bütün olarak çalışacak şekilde birbirine entegre edilmiştir. Arduino, renk sensöründen gelen verileri işleyerek doğru zamanda doğru bileşenleri aktif hale getirir.

2.1 Sistem Tasarımı

Sistem, konveyör bant üzerinde hareket eden nesnelerin algılanmasıyla çalışmaya başlar. Öncelikle ultrasonik sensör nesnenin geldiğini tespit eder. Ardından renk sensörü bu nesnenin rengini tespit eder. Arduino, algılanan renge göre röle üzerinden elektrovalfi kontrol eder. Eğer belirlenen renkte bir nesne algılanırsa, pnömatik silindir harekete geçerek onu sistem dışına iter. Diğer renkteki nesneler sistemden herhangi bir müdahale olmadan geçer.

Bu işlem sayesinde sistem, nesneleri otomatik olarak renge göre ayırmaktadır.

2.2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

İlk olarak sistemin mekanik kurulumu ile başlandı. Konveyör bant, motor ve pnömatik silindir düzgün şekilde yerleştirildi. Elektronik bileşenlerin bağlantıları yapıldı ve Arduino yazılımı yüklendi. Renk sensörünün doğru çalışabilmesi için ortama uygun ışık koşulları sağlandı ve eşik değerler belirlendi. Yapılan testlerde sistemin nesneleri %86 oranında doğru bir şekilde ayırabildiği gözlemlendi.

2.3 Karşılaşılan Zorluklar

Proje sürecinde bazı teknik zorluklarla karşılaşıldı. Özellikle renk sensörünün çevresel ışığa karşı hassas olması, ölçümlerde kararsızlıklara neden oldu. Bunu engellemek için sabit LED

aydınlatma eklendi. Ayrıca Arduino'nun çıkış gücünün, valfleri doğrudan çalıştırmak için yeterli olmaması nedeniyle röle modülü kullanıldı. Pnömatik sistemin kurulumu sırasında bazı hava kaçaklarıyla da uğraşmak gerekti. Bunlara ek olarak yazılımda sensör tepkisiyle motor hareketinin zamanlaması uyumlu hale getirilirken dikkatli kalibrasyonlar yapıldı.

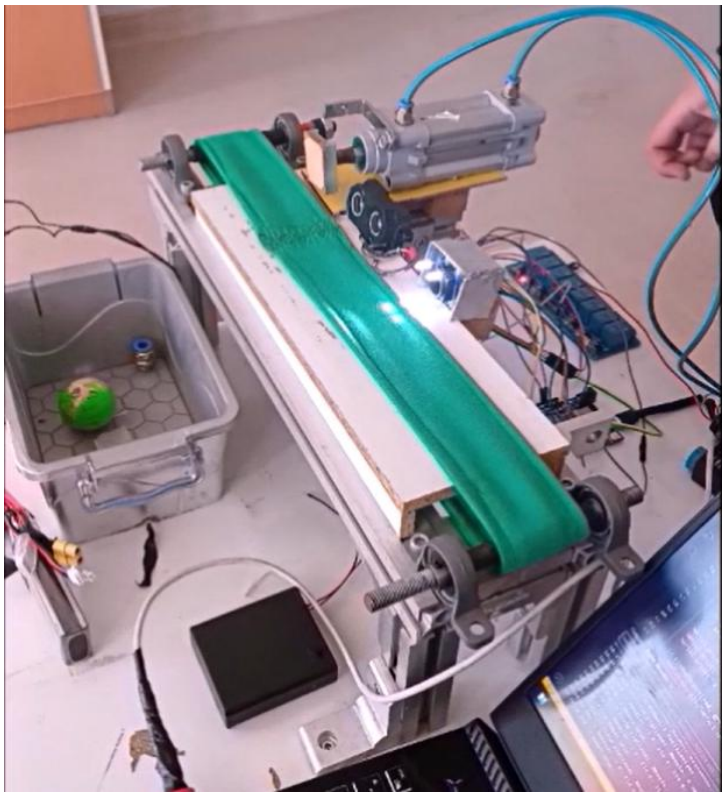
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Proje sonunda, düşük maliyetli parçalarla çalışan ve otomatik olarak renk ayrımı yapabilen bir sistem başarıyla oluşturulmuştur. Sistem, renkli nesneleri tanıyıp ayırmakta genel anlamda başarılı olmuş, manuel müdahaleye gerek kalmadan işlemi gerçekleştirmiştir. Bu da üretim ortamlarında verimlilik ve doğruluk açısından önemli bir avantaj sunmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Sistemin daha gelişmiş versiyonlarında, daha hassas endüstriyel sensörler ve farklı renklere göre sınıflandırma yapılması mümkün olabilir. Ayrıca yapay zeka tabanlı görüntü işleme algoritmaları ile sadece renk değil; şekil, doku ve boyuta göre de ayrıştırma yapılabilir. Donanımsal olarak servo motorlar ve PLC'ler ile sistem daha kararlı ve hızlı hale getirilebilir.

Aşağıda sistemin fotoğrafı yer almaktadır.



5. KAYNAKÇA

1. TCS3200 Color Sensor Datasheet, TAOS Inc., [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Color/TCS3200.pdf

2. Arduino Uno Technical Specifications, Arduino.cc, [Online]. Available: https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3

3. HC-SR04 Ultrasonic Sensor Datasheet, [Online]. Available: https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf

4. M. Rafiquzzaman, Fundamentals of Digital Logic and Microcontrollers, Wiley, 2nd ed., 2014.

5. F. Groover, Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing, 4th ed., Pearson, 2015.

6. H. Asada and H. Slotine, Robot Analysis and Control, Wiley, 1986.

7. S. Gupta et al., “Design and implementation of automatic color sorting machine using TCS3200 color sensor,” International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 5, no. 3, pp. 1–5, Mar. 2016.

8. B. Siciliano and O. Khatib, Springer Handbook of Robotics, 2nd ed., Springer, 2016.

9. S. V. Patil and R. C. More, “Development of Color Sorting Machine Using Embedded System,” International Journal of Scientific and Research Publications, vol. 3, no. 5, May 2013.

YENI NESIL SU VERIMLILIĞI: 7 LITRE SU ILE ÇALIŞAN BULAŞIK MAKINESI GELIŞTIRME PROJESI

New Generation Water Efficiency: Development of a 7 Liter Water Dishwasher

E&P Test Uzmanı, Onur TURHAN
RENTA ELEKTRİKLİ EV ALETLERİ SAN.VE DIŞ.TİC.LTD.ŞTİ,
onur.turhan@haier-europe.com - 0000-0002-6664-3389

ÖZET

Günümüzde su kaynaklarının azalması ve sürdürülebilir üretim anlayışının önem kazanması, ev tipi beyaz eşyaların su tüketim performansını kritik hale getirmiştir. Bu çalışma, standart temizlik ve hijyen performansından ödün vermeden yalnızca 7 litre su ile tam kapasiteli yıkama yapabilen bir bulaşık makinesi prototipinin geliştirilmesini amaçlamaktadır. Proje kapsamında, su tüketimini azaltmak amacıyla yıkama döngüsü boyunca suyun geri kazanımı ve yeniden dolaşımı sağlanacak şekilde iç yapıda optimizasyonlar geliştirilmiş üzerine odaklanılmıştır. Laboratuvar testleri ve ön değerlendirmeler, cihazın hem temizlik hem de hijyen kriterlerinde uluslararası standartları karşılayabilecek düzeyde performans sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Su tüketimi, Gri suyun yeniden kullanımı, Bulaşık makinesi, Çevre kirliliği

ABSTRACT:

The decreasing availability of water resources and the growing importance of sustainable production practices have made the water consumption performance of home appliances critically important. This study aims to develop a dishwasher prototype capable of performing full-capacity washing with only 7 liters of water, without compromising standard cleaning and hygiene performance.

Within the scope of this project, optimizations in the internal structure have been developed with a focus on ensuring water recovery and recirculation throughout the wash cycle, thereby reducing water consumption. Laboratory tests and preliminary evaluations indicate that the device offers a performance level capable of meeting international standards in both cleaning and hygiene criteria.

Keywords: Water consumption, Greywater reuse, Dishwasher, Environmental pollution

1. GIRIŞ

Su kaynaklarının sınırlılığı ve artan nüfus baskısı altında, suyun etkin kullanımı gün geçtikçe daha önemli hale gelmektedir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), evsel su tüketiminin önemli bir bölümünü bulaşık yıkama gibi gündelik işlerin oluşturduğunu rapor etmektedir. Mevcut bulaşık makineleri, bir yıkama döngüsü için ortalama 10-15 litre su tüketmektedir. Bu miktar, uzun vadede hem bireysel su faturalarında artışa neden olmakta hem de su kaynakları üzerindeki baskıyı artırmaktadır.

Endüstriyel tasarımda sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde, az su ile çalışan cihazların geliştirilmesi, hem çevresel etkilerin azaltılması hem de ekonomik fayda sağlanması açısından önemlidir. Bu bağlamda, 7 litre su ile yıkama yapabilen yeni nesil bir bulaşık makinesi geliştirilmeye karar verilmiştir. Bu prototip, yalnızca su tüketimini azaltmakla kalmayıp, enerji verimliliğini de ön planda tutarak çevresel etkiyi minimuma indirmeyi hedeflemektedir.

Su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı ve evsel cihazlarda su verimliliği son yıllarda önemli araştırma konuları arasında yer almaktadır. Özellikle bulaşık makineleri gibi su tüketimi yüksek ürünlerde yapılan iyileştirmeler, hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli kazanımlar sağlamaktadır.

Reynaert ve arkadaşları, küçük ölçekli su geri kazanım teknolojilerinin potansiyelini ele aldıkları çalışmalarında, bina içi uygulamaların geleneksel altyapılara alternatif oluşturabileceğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda, bulaşık makinelerinde geri dönüşüm tabanlı sistemlerin entegrasyonu kritik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir [1].

Alabiso ve arkadaşları, bulaşık makinesi atık suyunun mikrobiyal konsorsiyum ile arıtılarak tarımsal kullanıma uygun hale getirilebileceğini göstermiştir. Bu çalışma, yalnızca su tasarrufuna değil, aynı zamanda evsel atık suların yeniden kullanımına yönelik sürdürülebilir çözümlere de işaret etmektedir [2].

Tewes, Harcq ve Bockmühl tarafından Avrupa'daki bulaşık makinesi programları üzerine yapılan inceleme, cihazların enerji ve su tüketiminde ciddi farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu farkların, ürün geliştirme süreçlerinde program yapısının ve püskürtme teknolojilerinin göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir [3].

Bunlara ek olarak, Tony ve arkadaşları, evsel cihazlarda suyun döngüsel kullanımı için tasarlanan yenilikçi teknolojileri tanımlamış ve bu teknolojilerin karbon ayak izini azaltmadaki etkilerini analiz etmiştir [4].

Mohammad ve diğerleri, gıda sektöründe basınç bazlı membran sistemleriyle suyun yeniden kullanılmasına dair başarı örnekleri paylaşılmıştır. Bu teknolojik yaklaşımlar, ev tipi cihazlara da uyarlanabilir niteliktedir [5].

Céline ve diğerleri, suyun döngüsel ekonomi bağlamında kullanımıyla ilgili küresel eğilimleri kapsamlı biçimde incelemiştir. Bu makale, hem makro hem de mikro ölçekli su tasarrufu uygulamalarının etkilerini anlamak açısından oldukça değerlidir [6].

Tewes ve arkadaşları, bulaşık makinelerinde uygulanan yıkama programlarının su ve enerji tüketim performanslarını sistematik olarak incelemişlerdir. Avrupa'da yaygın olarak kullanılan beş farklı yıkama programı karşılaştırılarak, cihazların gerçek koşullarda nasıl çalıştığı test edilmiştir. Özellikle "Eco", "Hızlı" ve "Yoğun" gibi programların verimlilikleri analiz edilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, "Eco" programı su tüketiminde ortalama %25 oranında tasarruf sağlamış ve temizlik performansından ödün vermemiştir. Ayrıca, püskürtme sistemlerinin yönü, sıcaklık kontrolü ve su sirkülasyon yapıları gibi unsurların bu tasarrufta önemli rol oynadığı tespit edilmiştir [7].

Avrupa Komisyonu tarafından yayımlanan raporda, 1990–2020 yılları arasında bulaşık makinelerindeki su ve enerji tüketimi eğilimlerini incelemiştir. Rapora göre, ortalama su tüketimi döngü başına 30 litreden 10 litreye, enerji tüketimi ise 1,4 kWh'den 0,8 kWh'ye düşmüştür. Bu gelişmede en büyük pay, zorunlu enerji etiketlemesi, ekodizayn kuralları ve üreticilerin verimlilik odaklı Ar-Ge faaliyetlerine aittir. Ayrıca AB düzeyinde uygulanan çevre mevzuatlarının, kullanıcı davranışlarını ve üretici stratejilerini olumlu yönde etkilediği vurgulanmaktadır. Sizin projenizin

temel hedefi olan 7 litre su kullanımı, bu raporda belirtilen tarihsel iyileşme eğilimlerinin daha da ileriye taşınması anlamına gelir ve AB'nin hedefleriyle doğrudan uyumludur [8].

Tüm bu çalışmalar, geliştireceğimiz 7 litrelik bulaşık makinesi projesinin bilimsel zeminini güçlendirmekte ve cihazın hem su tasarrufu hem de performans kriterlerini karşılayan yenilikçi yapısının önemini ortaya koymaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Test Protokollerinin Belirlenmesi

Geliştirilen cihazın performans testleri, IEC 60436 standardına uygun şekilde planlanmıştır. Testlerde farklı doluluk senaryoları (yarım dolu, tam dolu), kirlenme seviyeleri ve yıkama programları değerlendirilmiştir. Temizlik etkinliği için standartlaştırılmış kirletilmiş tabak setleri kullanılmıştır.

2.2. Su Tüketim Ölçümleri

Cihazın tüm yıkama döngüsü boyunca kullanılan su miktarı, yüksek hassasiyetli debimetreler ile ölçülmüştür.

2.3. Geri Dolaşım Performansı

Suyun tekrar kullanımı için iç devridaim sistemi geliştirilmiş ve verimliliği test edilmiştir.

2.4. Enerji Tüketimi Ölçümleri

Yıkama süresi boyunca cihazın toplam enerji tüketimi, hassas güç ölçer ile ölçülmüştür. Isıtıcı rezistansının aktif olduğu sürede harcanan enerji ile tüm döngü için enerji yoğunluğu (kWh/döngü) hesaplanmıştır.

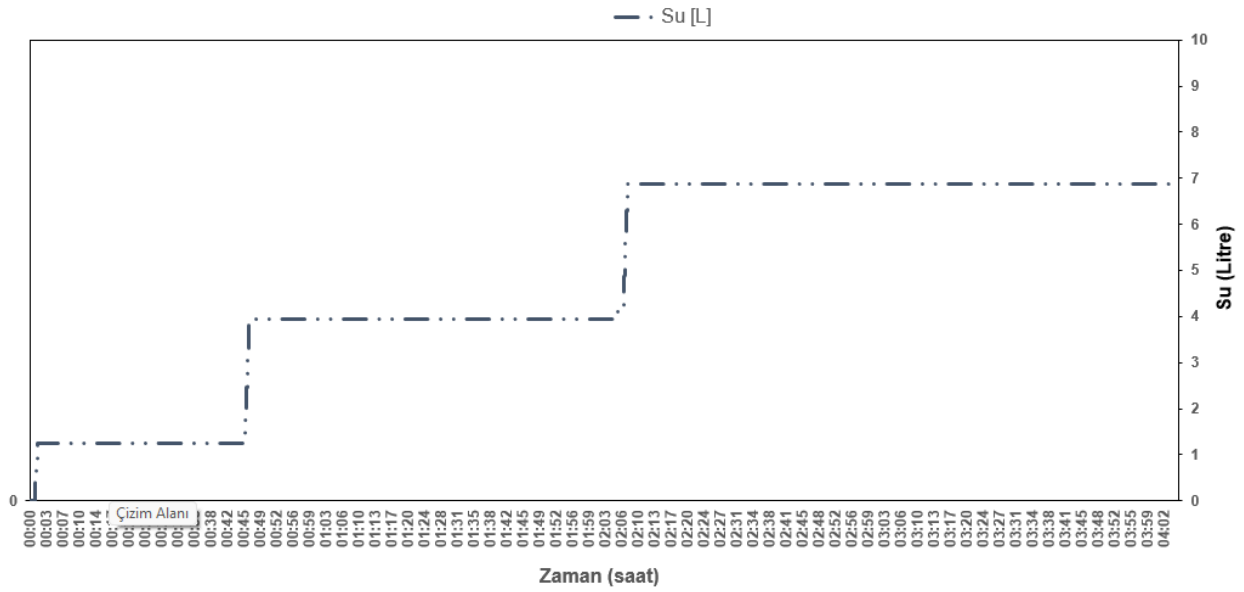
2.5. Performans Testleri

Geliştirilen model ile yapılan performans testleri ile birlikte %30'a varan su tasarrufu sağladığı belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geliştirilen bulaşık makinesi prototipi, toplam 7 litre su kullanarak gerçekleştirdiği tam kapasiteli yıkama döngülerinde; temizlik, hijyen, enerji tüketimi ve kullanıcı deneyimi açısından tatmin edici sonuçlar sunmuştur.

Yapılan laboratuvar testlerinde cihaz, IEC 60436 standardına uygun olarak test edilmiş ve test setindeki kirli bulaşıklarda başarılı temizlik sağlamıştır. Cihazın su tüketimi, karşılaştırılan modellerde görülen 10–15 litre aralığına kıyasla %25-30 oranında azaltılmıştır.



Görsel 1. 7-Litre Makine Çalışması Test Sonucu

Görsel 1 ‘de belirtilen 7-Litre makinemiz için yapılan test sonucunda, 6.8 litre su tüketimi sağladığı görülmüştür.

4. SONUÇ VE DEĞERLENDIRME

Bu çalışma kapsamında geliştirilen düşük su tüketimli bulaşık makinesi geliştirilmesi ile yalnızca 7 litre su kullanarak standartlara uygun temizlik ve hijyen performansı sunabilmiştir. Yapılan deneysel testler ve değerlendirmeler sonucunda, geliştirilen bulaşık makinemizin yaklaşık %25-30 oranında su tasarrufu sağladığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, su kaynaklarının hızla azaldığı ve iklim değişikliği etkilerinin her geçen gün daha belirgin hale geldiği günümüz dünyasında, ev tipi cihazların sürdürülebilirlik odağında yeniden tasarlanmasının artık bir tercih değil, bir gereklilik olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle bulaşık makineleri gibi günlük yaşamda sıklıkla kullanılan su tüketicilerinin optimize edilmesi, bireysel tüketicilerden başlayarak toplumsal ölçekte önemli çevresel kazanımlar sağlayabilecek potansiyele sahiptir.

Bu bağlamda geliştirilen 7 litre su tüketimli bulaşık makinesi sistemi, hem kullanım verimliliği hem de çevresel etki açısından mevcut sistemlere kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Minimum su ve enerji kullanımı ile yüksek temizlik ve hijyen performansı sağlayabilmesi, cihazın hem bireysel kullanıcıların çevresel farkındalıklarına katkı sunmasına hem de karbon ayak izlerinin azaltılmasına doğrudan katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Ayrıca bu çalışma, beyaz eşya sektöründe çevreci tasarım ilkelerine dayalı ürün geliştirme yaklaşımının teknik olarak uygulanabilir ve ekonomik açıdan sürdürülebilir olduğunu da kanıtlamaktadır. Sadece bireysel faydalar değil; aynı zamanda küresel ölçekte su güvenliğine, enerji verimliliğine ve doğal kaynakların korunmasına yönelik bir adım olması açısından da önem arz etmektedir.

Geliştirilen bu sistem, sektördeki diğer üreticilere de benzer yönde Ar-Ge çalışmaları yapmaları konusunda ilham verecek niteliktedir. Dolayısıyla, çalışmanın sonuçları yalnızca mevcut cihaz performansına ilişkin değil, aynı zamanda sürdürülebilir teknolojilerin yaygınlaştırılması ve inovatif tasarım yaklaşımlarının desteklenmesi yönünden de değerlidir.

KAYNAKÇA

[1] Reynaert, E., Hess, A., & Morgenroth, E. (2021). Making Waves: Why water reuse frameworks need to co-evolve with emerging small-scale technologies. Water Research X, 11, 100094.

[2] Alabiso, A., Frasca, S., Cantelmo, V., Braglia, R., Scuderi, F., Costa, F., ... & Migliore, L. (2024). From kitchen to crop: The efficacy and safety of the microbial consortium treated dishwasher wastewater for the Zero Mile system. Plant Physiology and Biochemistry, 214, 108967.

[3] Tewes, T. J., Harcq, L., & Bockmühl, D. P. (2023). Use of automatic dishwashers and their programs in Europe with a special focus on energy consumption. Clean Technologies, 5(3), 1067-1079.

[4] Geglio, T., Bradley, T., Williams, T., Zhou, S., Watkins, D., & Minakata, D. (2021). Water- and energy-efficient appliances for circular water economy: Conceptual framework development and analysis of greenhouse gas emissions and water consumption. ACS ES&T Engineering, 2(3), 409-422.

[5] Peydayesh, M., & Mezzenga, R. (2024). The circular economy of water across the six continents. Chemical Society Reviews.

[6] Garnier, C., Guiga, W., Lameloise, M. L., & Fargues, C. (2023). Water reuse in the food processing industries: A review on pressure-driven membrane processes as reconditioning treatments. Journal of Food Engineering, 344, 111397.

[7] Khan, F. M., Khan, S. A., Shamim, K., Gupta, Y., & Sherwani, S. I. (2023). Analysing customers' reviews and ratings for online food deliveries: A text mining approach. International Journal of Consumer Studies, 47(3), 953-976.

[8] European Commission. (2020). Ecodesign and Energy Labelling: Case study on dishwashers. Brussels: Publications Office of the European Union

REDUCTION OF INTERNAL STRESSES OF ROLL-FORMED JOINT CLOSURES IN ALUMINUM SUSPENSION ARMS WITH FOCUS ON GEOMETRICAL PROPERTIES

Serhan ÖZDEĞER
Dokuz Eylül Üniversitesi, The Graduate School of Natural and Applied Sciences
ZF Lemförder Aks Modülleri San. Ve Tic. A.Ş,
serhan.ozdeger@zf.com – 0009-0001-7969-664X

Prof. Dr. Çınar Emine YENİ
Dokuz Eylül Üniversitesi, Dept. of Mechanical Engineering,
cinar.yeni@deu.edu.tr - 0000-0003-4268-7077

ABSTRACT

Control arms of passenger vehicles are critical parts that convey loads and movement between wheel and chassis. Connection of control arm to the wheel is ensured by at least one ball joint, which is integrated to the control arm housing by the rolling process.

External loads of control arms are gradually increasing due to the additional battery weights of electric vehicles. On the contrary, component weights are to be kept as low as possible to ensure energy efficiency and thus increase the cruising range of the vehicle. This causes the ball joint of the control arms to operate under even more harsh conditions and consequently may shorten the component life.

In this study, it is aimed to focus on the rolled area (rolling edge) of the housing in terms of local component stress. 1/4 fractional factorial design method is used to evaluate the effects of 7 design parameters chosen. Maximum principal stresses are calculated with FEA to evaluate the combined effects of design parameters. Results showed that maximization of parameters EP2, EP3, HP2 and HP3 and minimization of HP4 greatly reduces the stress amplitude, whereas effect of HP1 and EP1 is somewhat limited.

Keywords : Control arm, stress amplitude, design of experiments, finite element analysis

1. INTRODUCTION

Control arms are essential parts of a car's suspension system, which connect various joints and transfer forces and movements between them. There are numerous types of control arms available, and selecting the appropriate type and material depends on the suspension system and the loads that the control arm will bear [1]. In addition to transferring forces, control arms also aid to keep wheels in the correct alignment and allow up and down movement of the wheel base. Therefore, it is essential for a control arm to represent required strength properties and resist various bending and torsion loads during operation [2].

Nowadays, there is a drift towards lightweight materials and components due to the need of increasing energy efficiency. Lighter materials are being developed in large scale to enable compatibility to strict environmental regulations [3], as well as increased range for battery electric vehicles.

Depending on the structure of the suspension system, control arms can be built with two, three or four connection points. Regardless of the connection point quantity, a control arm usually have at least one ball joint, generally connected to the wheel of the vehicle. Chassis connection is generally ensured by a presence of a rubber component, in order to dampen the vibrations as well as support the movements and loads. Figure 1 shows general structure of a 2-point control arm.

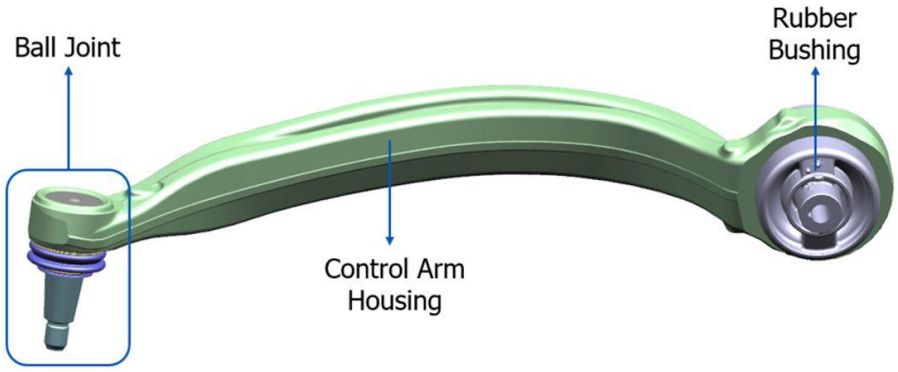


Figure 1. A 2-pt Control Arm with Sub-components, ZF Friedrichshafen AG, 2025

Control arms can also be produced out of different variation of materials. Material selection is generally based on weight, package and load requirements of the suspension system, as well as availability of required production technology. Figure 2 shows most common control arm materials that are being used in serial production. It’s important to mention that, there are also numerous studies carried out to manufacture control arms from magnesium alloys [3] [4].



Figure 2. Various Control Arm Materials, Ersoy & Heiβing, 2011

Ball joints, which are integrated into the control arm, are also subjected to similar loads that control arm bears. Therefore, it is essential that ball joint also has a sufficient safety factor against loads. The wheel is subjected to forces with lower amplitude during normal cruise. However, ball joint receives higher loads in case of uneven road surface, cornering, accelerating and braking [5]. Because of the repeating nature of the loads, ball joints should be robust and strong enough to support the vehicle operation throughout its life cycle. In addition to the strength requirements, ball joint elements should be able to deform plastically instead of brittle breaking behavior in case of overload and misuse [6].

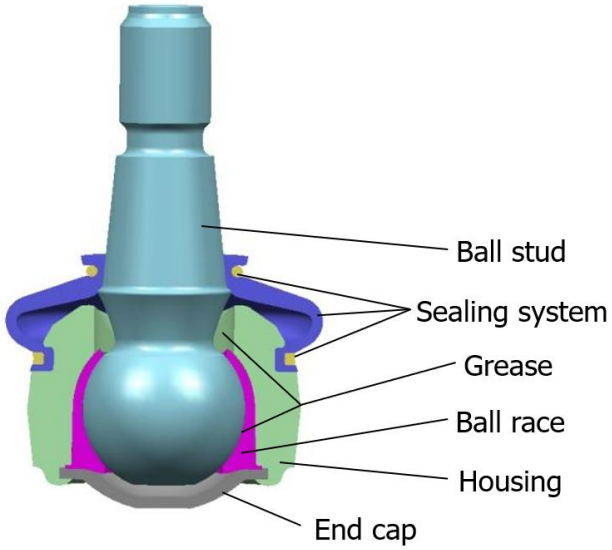


Figure 3. Subcomponents of a Ball Joint, Ersoy & Heiβing, 2011

As shown in Figure 3, a ball joint consists of a housing (mainly made of steel or aluminum alloys), a plastic bearing/ball race (generally POM or PEEK) to ensure low friction operation, steel ball stud for connection to neighboring suspension component and an end cap to close and seal the ball joint. Structure of the ball joint is completed by a rubber sealing system (sealing boot) to protect the assembly from environmental effects.

Production of a ball joint consists of manufacturing of the housing and ball stud followed by subsequent assembly operations. After the assembly, housing end is rolled onto the end cap as shown in Figure 4. This consequent geometry is called as rolling edge and it is one of the most critically loaded areas of a ball joint. There is a need to strengthen this area to be able to keep up with increasing weight and therefore loads of the new generation vehicles.

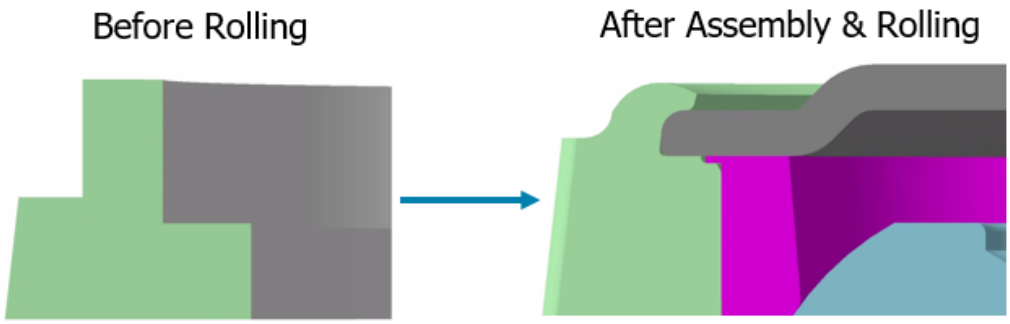


Figure 4. Rolling Process, ZF Friedrichshafen AG, 2025

There are numerous studies in the literature which focused on rolling edge geometry mainly in terms of pull-out strength of the ball stud and quality of rolling process itself [7] [8] [9]. Tian et al. (2018) have studied for the effect of housing dimensions on the rolling process. Consequently, it was found out that geometry of the rolling edge has a significant effect on the pull-out strength as well as service and breakaway torques of the ball joint. Extraction (pull-out) strength increases as material amount joined to the rolling process increased.

Kozlowski et al. (2021) have created mathematical linear relationship functions to determine the limit value of friction moments and thus predict its value at the end of ball joint life cycle, so called $2x10^6$ cycles. Their study mainly focuses on the friction moment and thus wear behavior of the ball joint.

Tian et al. (2012) have simulated various rolling edge geometries by finite elements analysis and re-created these geometries on test samples to evaluate the quality of sealing (rolling) process. Results showed that geometry of the housing has a significant effect on the stresses occurred on the rolling edge, further affecting the quality of rolling process later on.

There is also a study where design of experiments method was implemented to size the geometry of a control arm [10]. Park et al. defined seven design parameters on a control arm to reduce the weight of the component, while maintaining required strength and stiffness values.

It is obvious that, parameters of rolling process and geometry of housing and subcomponents have a significant effect on stresses of rolling edge. It turns out that there is a need for systematic study that defines effect of geometrical parameters on the strength and durability of the ball joint. With this study, it is aimed to focus on the geometrical aspect of the rolling edge to reduce internal stresses during operation.

2. DESIGN OF EXPERIMENTS

As a method, design of experiments (DoE) has various useful examples, used in a variety of fields including engineering design activities. In order to ensure reliable operation of a component, it is possible to evaluate effect of different materials, different design parameters and thus determine important product design characteristics [11].

There are three main rules of thumb when creating a DoE as follows: replication, blocking and randomization. Replication, basically can be defined as repetition of experiments on the subject, so that effects can be observed with better precision and variability can be estimated. Blocking technique is to divide the experimental units into some groups, so that each block can be compared in similar conditions. And finally, purpose of the randomization is to randomly assign the test subjects, so that biases can be eliminated [12].

2.1. Factorial Designs

Many experiments focus on studying the effects of multiple factors. Generally, factorial designs are the most efficient for these types of studies. In a factorial design, every possible combination of factor levels is examined in each complete trial or replication of the experiment [11]. Factorial designs can be divided into categories such as general factorial designs, 2^k factorial designs and fractional factorial designs.

For 2^k factorial designs, there are "k" levels of factors all of which has two levels each. These levels can be quantitative such as diameter, dimension, temperature etc. or qualitative such as presence or absence of a factor or "high" and "low" of a parameter. With this method, there would be 128 trials required to properly analyse an experiment set with 7 different parameters. Although it is generally more desirable to test every possible affecting factor one by one to determine the effects arisen, this would be very time consuming, and analysis of some parameters may be unnecessary or may not have significant effect on the results. Therefore, various methods such as fractional factorial designs were developed to analyse the experiments relatively quickly and systematically.

Fractional factorial designs allow user to evaluate a design with less number of runs but has a disadvantage of main effects that each main effect and interaction will be confounded with other main effects and interactions. This bring one to term of resolution in design of experiments. Design resolutions indicate the extent to which effects in a fractional factorial design are mixed(confounded) with other effects. In a fractional factorial design, some effects are confounded, meaning they cannot be independently estimated. Typically, one should use a fractional factorial design with the highest resolution possible for the required level of fractionation. For instance, it is generally preferable to select a design where main effects are confounded with 3-way interactions (Resolution IV) rather than with 2-way interactions (Resolution III) [13]. Table 1 presents the summary of resolution concept in design of experiments.

Table 1. Resolution numbers of fractional factorial design, Dean, Voss and Draguljic, 2017

Resolution	Main effects aliased with	2-factor interactions aliased with
III	2-factor interactions and/or higher	Main effects and/or interactions
IV	3-factor interactions and/or higher	2-factor interactions and/or higher
V	4-factor interactions and/or higher	3-factor interactions and/or higher

Fractional factorial designs are named after their ratio of fraction compared to the full factorial design, such as 1/4 or 1/2 factorial designs. Figure 5 shows possible factorial designs in

terms of factors to be analysed and required experiment runs. For current study with 7 parameters and 2-levels each, resolution IV design is preferred which corresponds to 32 runs in total.

	Factors					
Runs	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
4	Full	III				
8		Full	IV	III	III	III
16			Full	Full	IV	IV
32				Full	VI	IV
64					Full	VII
128						Full

Figure 5. Available Factorial Designs, Minitab®, 2025

2.2. Analysis of Factorial Design

2.2.1. Model Quality

It should be ensured that established model well represents the data set to be able to make a comparison between different models, as well as interpret the results for better analysis. There are 3 key values that will be considered for model quality: S, R-sq and R-sq (pred) values.

S is expressed in the units of the response variable and indicates the deviation of data values from the fitted values. A lower S value signifies a better model fit for the response. However, a low S value alone does not confirm that the model meets its assumptions. R-sq value is always between 0% and 100% and should be as high as possible to guarantee a good fit of model to the data set. And finally R-sq(pred) value can be used to determine how good the data set can predict responses within DoE limits [14].

2.2.2. Pareto Charts

Pareto charts are used in factorial design analysis to visualize the standardized effects of the parameters (and their interactions) in decreasing order as shown in Figure 6. Reference line in the chart indicates which effects are significant for that particular confidence level [14].

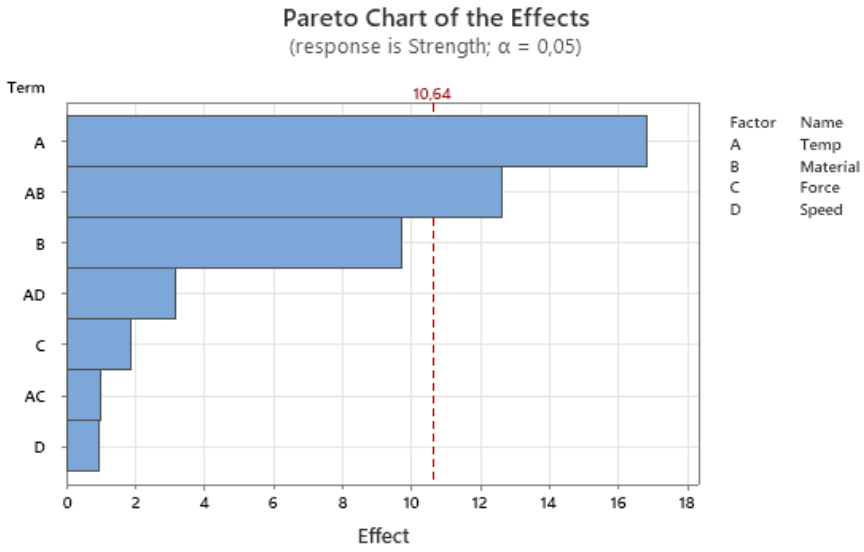


Figure 6. Pareto Charts

2.2.3. Factorial Plots

Factorial plots are key elements for analysing a factorial design when it is necessary to visualize the relationship between the response and predictors. It is necessary to evaluate the shape of the lines to determine if a main effect is present or not. When the line is horizontal (parallel to the x-axis), it indicates no main effect, meaning the response value remains constant regardless of the predictor's value. Conversely, when the line is not horizontal, a main effect is present, showing that the response value changes with different predictor values. The steeper the line's slope, the greater the magnitude of the main effect [15]. Figure 6 shows an example factorial plot of the main effects. It is obvious that response (strength) decreases as Speed increases and response increases as Material and Force is increased. It can be said that all four parameters has an effect on the response, however the effect of Speed is much more significant compared to other three, since the slope of the line is steeper.

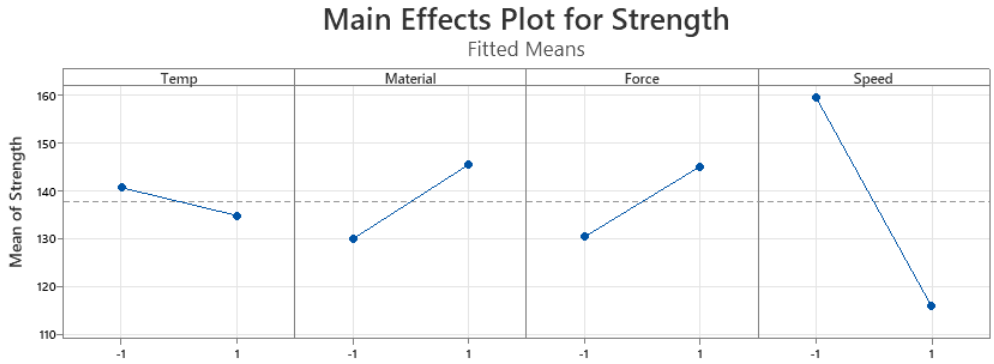


Figure 6. Main Effects Plot of Factorial Design

3. MATERIAL AND METHODS

3.1. Selection of Materials and Parameters

In the scope of this study, material of the control arm housing and ball race was selected as EN AW 6082 - T6 and POM A, respectively. Material properties of aluminum allow is selected as per DIN EN 755-2. Ball stud and end cap material was selected as linear steel. Material properties are provided in Table 2 and Table 3.

Table 2. Material Properties for Control Arm Housing

Material	Yield Strength [MPa]	Tensile Strength [MPa]	A5 [%]
6082-T6	300	340	10

Table 3. Material Properties for End Cap, Ball Stud and Ball Race

Component	Material	Young's Modulus	Poisson's Ratio
End Cap	Linear Steel	210.000	0,30
Ball Stud	Linear Steel	210.000	0,30
Ball Race	POM A	3.000	0,35

Total of 7 design parameters are defined where 3 of them belongs to end cap itself and 4 of the to ball joint housing. Parameters and their corresponding values are shown in Figure 7 and Table 4, respectively.

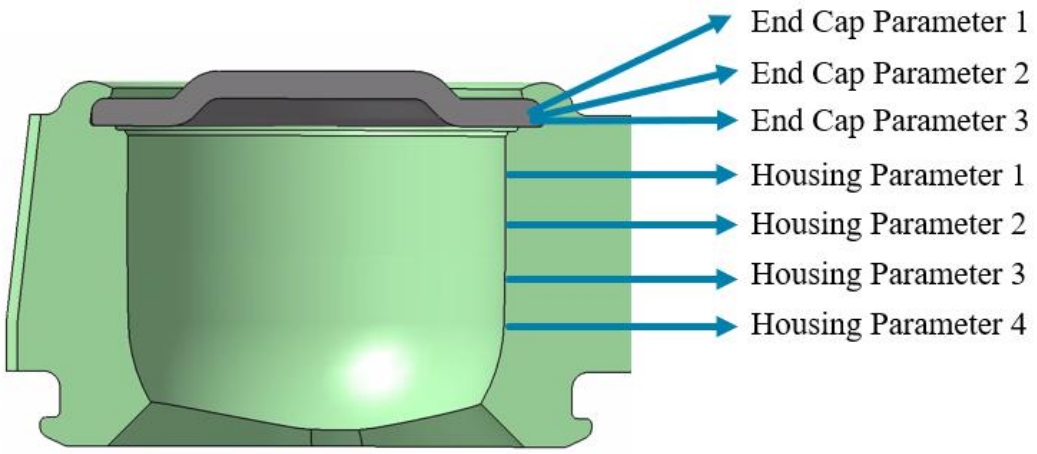


Figure 7. Design Parameters, ZF Friedrichshafen AG, 2025

Table 4. Parameters and Values

Parameters	Name	Values for Study	
		Low	High
HP1	Housing Parameter 1	a	1,3 a
HP2	Housing Parameter 2	b	1,17 b
HP3	Housing Parameter 3	c	1,33 c
HP4	Housing Parameter 4	d	2,08 d
EP1	End Cap Parameter 1	e	1,2 e
EP2	End Cap Parameter 2	f	1,07 f
EP3	End Cap Parameter 3	g	3,13 g

3.2. Definition of DoE Runs

A DoE table is created and analysed by Minitab® software using 7 parameters shown in Table 3. 2-level and ¼ fractional factorial design is chosen, so that a total of 32 variants are randomly chosen out of 128 variants. Number of replicates for each design point and number of blocks are defined as 1 for the study. Table 5 shows the list of the variants to be analysed according to design of experiments. Single component and assembly models are created using CATIA V5. Ball stud geometry is kept constant for all runs and ball race geometry is adapted to the housing so that only the height of the ball race is changed between the variants. Therefore, assembly models include end cap, ball stud, ball race and a 90 mm section of the control arm housing for ease of calculation, as shown in Figure 8.

In addition to 32 variants, there is also a reference variant defined, which corresponds to initial situation of the design. Therefore there are in total 33 variants to be calculated, named from V1 to V32 for design of experiment and named V33 for reference design. Response of the design of experiment calculation to be the amplitude of the maximum principle stresses between +25kN tensile and -15kN compressive loads.

Table 5. DoE Table for ¼ Fractional Factorial Design

Variants	HP1	HP2	HP3	HP4	EP1	EP2	EP3
V1	low	low	low	low	low	high	high
V2	high	low	low	low	low	low	low
V3	low	high	low	low	low	low	low
V4	high	high	low	low	low	high	high
V5	low	low	high	low	low	low	high
V6	high	low	high	low	low	high	low
V7	low	high	high	low	low	high	low

V8	high	high	high	low	low	low	high
V9	low	low	low	high	low	low	low
V10	high	low	low	high	low	high	high
V11	low	high	low	high	low	high	high
V12	high	high	low	high	low	low	low
V13	low	low	high	high	low	high	low
V14	high	low	high	high	low	low	high
V15	low	high	high	high	low	low	high
V16	high	high	high	high	low	high	low
V17	low	low	low	low	high	high	low
V18	high	low	low	low	high	low	high
V19	low	high	low	low	high	low	high
V20	high	high	low	low	high	high	low
V21	low	low	high	low	high	low	low
V22	high	low	high	low	high	high	high
V23	low	high	high	low	high	high	high
V24	high	high	high	low	high	low	low
V25	low	low	low	high	high	low	high
V26	high	low	low	high	high	high	low
V27	low	high	low	high	high	high	low
V28	high	high	low	high	high	low	high
V29	low	low	high	high	high	high	high
V30	high	low	high	high	high	low	low
V31	low	high	high	high	high	low	Low
V32	high	high	high	high	high	high	high

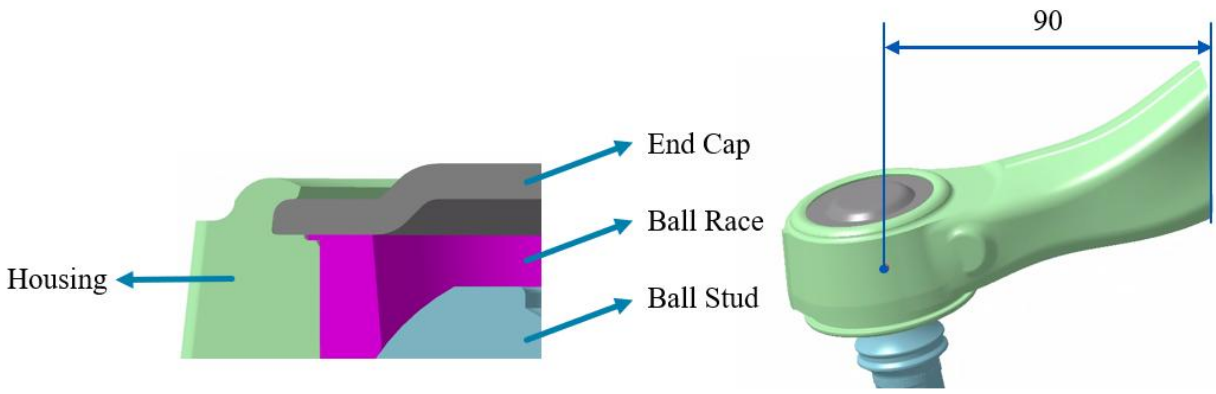


Figure 8. General Concept of the Assembly, ZF Friedrichshafen AG, 2025

3.2. Finite Element Analysis

Created 3D models are later on pre-processed using HyperMesh software and C3D8 and C3D10 elements are used as 3D element types. Element types and approximate number of elements used for the variants are given in Table 5. It is believed that interference between ball race-end cap and end cap-housing has noticeable effect on stresses on the rolling edge. Therefore these interferences are also considered and solved during FE calculations. Boundary conditions which are shown in Figure 9 are applied to the FE models. Housing is fixed at the end surface using RBE2 elements, whereas ball-joint kinematic point is attached to the center of the ball stud using RBE3 elements. Loads are applied to the ball stud kinematic point. Ball center is free to move in x,y and z directions but resticted to rotate in all directions. Housing end surface is resticted to move and rotate in all directions. Solver used is ABAQUS and post-processer is HyperView.

Table 6. Number of Elements

Component	Element Configuration	Number of Elements
Control Arm Housing	C3D8	150.000
	C3D10	100.000
End Cap	C3D8	33.000
Ball Stud	C3D8	11.700
Ball Race	C3D8	32.000

Loads and load sequence used for finite element analysis as follows:

1) Solving of interference/overlap
2) Heating and cooling
3) Application of +5 kN initial tension (static) load (-y direction)
4) Application of +25 kN maximum tension load (-y direction)
5) Application of -15 kN maximum compression load (+y direction)
6) Remove load

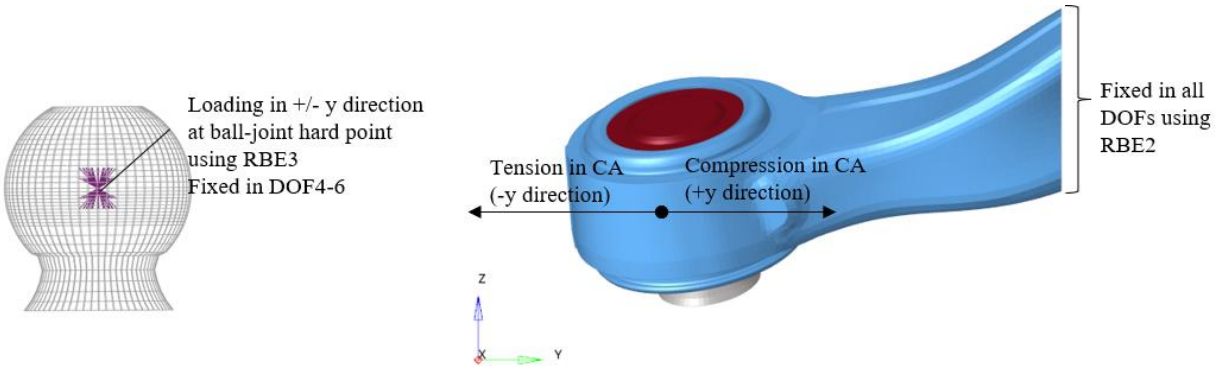


Figure 9. Boundary Conditions, ZF Friedrichshafen AG, 2025

Heating and cooling cycle is preferred prior to application of load to simulate tempering and resultant setting behavior on the ball joint. Main aim of the analysis is to calculate the maximum principal stresses on the rolling edge for the loads defined in step 4 and step 5, determine the amplitude of stress between these two steps and consequently evaluate the effect of 7 geometrical parameters on the rolling edge stresses using DoE analysis.

4. RESULTS AND EVALUATION

Maximum principal stresses on the rolling edge are calculated and listed. Figure 10 and Figure 11 shows the qualitative distribution of stress and local hot spots for 25 kN tension load and 15 kN compression load for first 4 variants, respectively.

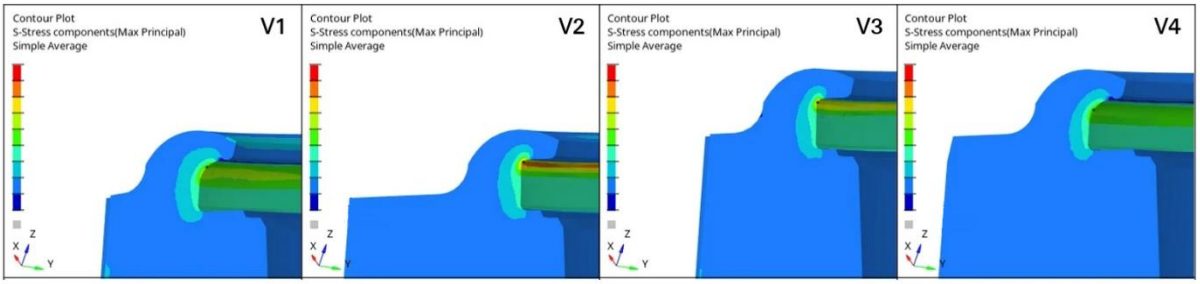


Figure 10. Maximum Principal Stresses under +25 kN Tension, ZF Friedrichshafen AG, 2025

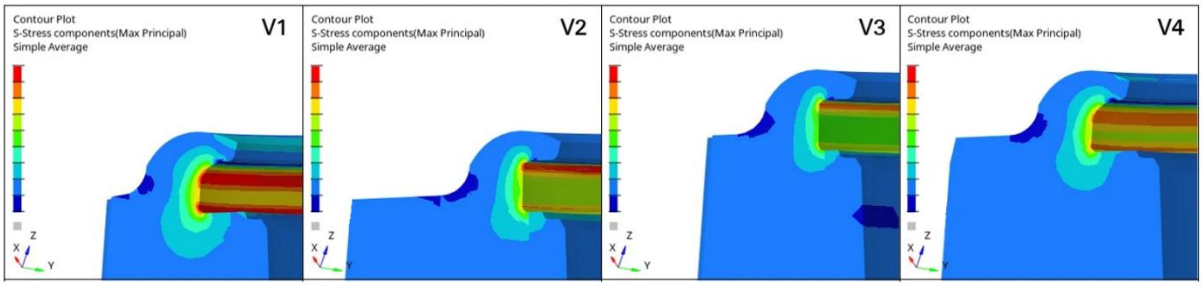


Figure 11. Maximum Principal Stresses under -15 kN Compression, ZF Friedrichshafen AG, 2025

Calculated stresses for all variants in regards to V33 (reference) are also given in Table 7.

Table 7. Maximum Principle Stress Values of Each Variant in Regards to V33

Variant	+25kN	-15kN	+5kN	Stress Amplitude (DoE Response)
	Max. Principle Stress [MPa]	Max. Principle Stress [MPa]	Max. Principle Stress [MPa]	Max. Principle Stress [MPa]
V1	0,87 σ_{25}	1,46 σ_{-15}	1,03 σ_{5}	0,72 σ_{a}
V2	1,36 σ_{25}	1,68 σ_{-15}	1,39 σ_{5}	1,28 σ_{a}
V3	1,17 σ_{25}	1,65 σ_{-15}	1,24 σ_{5}	1,05 σ_{a}
V4	0,81 σ_{25}	1,58 σ_{-15}	1,07 σ_{5}	0,62 σ_{a}

V5	0,95 σ_{25}	0,99 σ_{-15}	0,96 σ_{5}	0,94 σ_{a}
V6	1,21 σ_{25}	1,56 σ_{-15}	1,36 σ_{5}	1,12 σ_{a}
V7	0,97 σ_{25}	1,73 σ_{-15}	1,17 σ_{5}	0,78 σ_{a}
V8	0,75 σ_{25}	1,00 σ_{-15}	0,81 σ_{5}	0,68 σ_{a}
V9	1,75 σ_{25}	1,97 σ_{-15}	1,67 σ_{5}	1,69 σ_{a}
V10	1,24 σ_{25}	1,82 σ_{-15}	1,33 σ_{5}	1,10 σ_{a}
V11	1,11 σ_{25}	1,54 σ_{-15}	1,17 σ_{5}	1,00 σ_{a}
V12	1,65 σ_{25}	1,95 σ_{-15}	1,63 σ_{5}	1,57 σ_{a}
V13	1,57 σ_{25}	2,10 σ_{-15}	1,61 σ_{5}	1,43 σ_{a}
V14	1,24 σ_{25}	1,51 σ_{-15}	1,27 σ_{5}	1,18 σ_{a}
V15	1,04 σ_{25}	1,14 σ_{-15}	1,00 σ_{5}	1,01 σ_{a}
V16	1,36 σ_{25}	2,05 σ_{-15}	1,49 σ_{5}	1,18 σ_{a}
V17	1,20 σ_{25}	1,56 σ_{-15}	1,24 σ_{5}	1,11 σ_{a}
V18	1,06 σ_{25}	1,10 σ_{-15}	1,07 σ_{5}	1,05 σ_{a}
V19	0,93 σ_{25}	1,74 σ_{-15}	1,18 σ_{5}	0,72 σ_{a}
V20	1,03 σ_{25}	1,43 σ_{-15}	1,11 σ_{5}	0,93 σ_{a}
V21	1,20 σ_{25}	1,30 σ_{-15}	1,15 σ_{5}	1,18 σ_{a}
V22	0,83 σ_{25}	0,76 σ_{-15}	0,84 σ_{5}	0,85 σ_{a}
V23	0,65 σ_{25}	1,08 σ_{-15}	0,76 σ_{5}	0,55 σ_{a}
V24	1,04 σ_{25}	1,15 σ_{-15}	1,00 σ_{5}	1,01 σ_{a}
V25	1,39 σ_{25}	2,07 σ_{-15}	1,54 σ_{5}	1,22 σ_{a}
V26	1,63 σ_{25}	2,17 σ_{-15}	1,70 σ_{5}	1,50 σ_{a}
V27	1,39 σ_{25}	1,76 σ_{-15}	1,38 σ_{5}	1,29 σ_{a}
V28	1,29 σ_{25}	2,06 σ_{-15}	1,51 σ_{5}	1,10 σ_{a}
V29	1,09 σ_{25}	1,65 σ_{-15}	1,22 σ_{5}	0,94 σ_{a}
V30	1,54 σ_{25}	1,70 σ_{-15}	1,49 σ_{5}	1,49 σ_{a}
V31	1,36 σ_{25}	1,30 σ_{-15}	1,22 σ_{5}	1,38 σ_{a}
V32	1,01 σ_{25}	1,57 σ_{-15}	1,15 σ_{5}	0,86 σ_{a}
V33	σ_{25}	σ_{-15}	σ_{5}	σ_{a}

Analysis of stress values in combination with design of experiments table, i.e analysis of fractional factorial design, enables a regression model to be established. Model summary can be seen in Table 8 with S, R-sq and R-sq(pred) values provided.

Table 8. Model Summary

S	R-sq	R-sq(pred)
3,64	99,78%	98,42%

It can be easily said that, fitting of the model to the values and prediction capability of the model for new values are very high. Since model is established on the FE calculations instead of real-time experiments, distribution and deviation of values due to environmental factors is very low. All experiment done was computer and calculations based.

Analysis of the calculated stress amplitudes in Table 7 by means of pareto chart, shows that main effects has much more significant effect compared to interactions in terms of stress response. Therefore in the scope of this study, main effects are considered as priority focus point to improve the design.

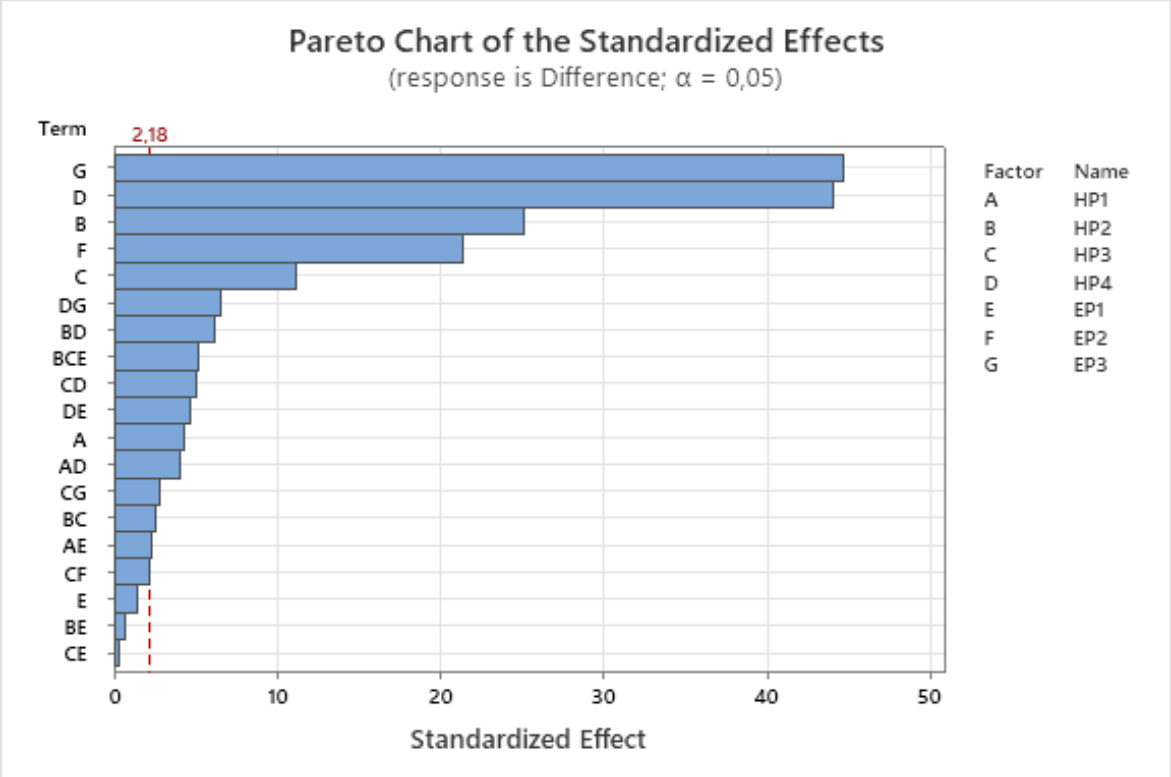


Figure 12. Pareto Chart of the Standardized Effects (α=0,05)

Figure 12 shows the pareto chart of the model after backwards elimination of the terms where p-value is smaller than α=0.05. As shown in the chart, main effects of EP3,HP4, HP2, EP2 and HP3 shows the most significant effect on the stress amplitude, respectively. Some 2-way and 3-way interections also have significant effect, whereas effect of 2-way interactions HP3 to EP2, HP2 to EP1, HP3 to EP1 and main effect of EP1 itself is negligible.

Factorial plot given in Figure 13 shows the effects of each main parameter on the stress amplitude with stress amplitude (σ_a) of reference design V33 in y-axis.

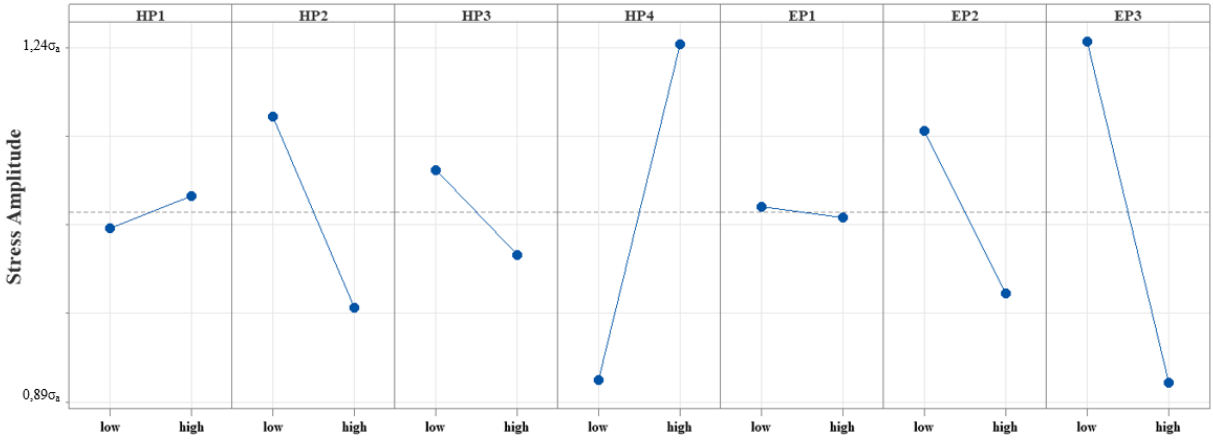


Figure 13. Factorial Plot of the Main Effects

5. CONCLUSION

As result of FEA calculations followed by DoE analysis, following findings are achieved:

- Maximization of end cap parameter 3 (EP3) within DoE limits greatly reduces the stress amplitude.
- Maximization of housing parameter 2 (HP2), end cap parameter 2 (EP2) and housing parameter 3 (HP3) within the DoE limits, significantly reduces the stress amplitude.
- Minimization of housing parameter 4 (HP4) within DoE limits, greatly reduces the stress amplitude.
- Effect of the housing parameter 1 (HP1) on the stress amplitude is somewhat limited.
- Effect of the end cap parameter 1 (EP1) on the stress amplitude is negligible.

In addition, it can be easily confirmed that V23, which presents the above-mentioned combination of design parameters, has the lowest stress amplitude among 32 experiments. Therefore, it can be a good starting point for further validation and bench tests to confirm the effectiveness of the method.

This study also can be further extended to predict the stress values for various combination of design parameters using the regression equations. Accuracy of the regression equation should be verified and can be the topic of additional studies.

REFERENCES

[1] Oruc, C., Ozdemir, O. Investigation of the Buckling Behavior of a Control Arm With Si Particle Reinforced Aluminum Based Metal Composite Material, Journal of Automobile Engineering, December, 237, 1, 2021.

[2] Emanetci, F. *Otomobillerde Kullanılan Ön Süspansiyon Sistemlerinden Al (6082) Salıncak Tasarımı Analizi ve Isıl İşlem Uygulaması*, Master's Thesis, Sakarya University, Institute of Natural Sciences, 2019

[3] Yoon, J., Lee, S. Warm Forging of Magnesium AZ80 Alloy for the Control Arm in an Automobile, Journal of Automobile Engineering, December, 229, 13, 2014

[4] Paracha, T. *Modelling of the Forging Process for a Magnesium Alloy Automotive Control Arm*, Master's Thesis, University of Waterloo, 2018

[5] Budak, I. N., Pekedis, M. Experimental and Numerical Fatigue Behavior Analysis of a Plastically Deformed Automobile Tie Rod, January, 23, 68, 2021.

[6] Ersoy, M., & Heiβing, B., *Chassis Handbook* (1st ed.). Vieweg+Teubner Verlag, 2011.

[7] Tian, H., Li, X., Liu, X., Yuan, W. Influences of Housing Dimension on Ball Joint Properties, Materials Science Forum, February, 928, 2018.

[8] Kozlowski, E., Borucka, A., Szymczak, T., Świderski, A., Gil, L. Predicting the Fatigue Life of a Ball Joint, Transport and Telecommunication, November, 22, 4, 2021.

[9] Tian, H., Liu, X., Yu, X. (2012). Study on the Ball Joint Sealing of Aluminum Control Arms, Materials Science Forum, December, 704-705, 2012.

[10] Park, J. H., Kim, K. J., Lee, J. W., Yoon, J. K. Light-Weight Design of Automotive Suspension Link Based On Design of Experiment. International Journal of Automotive Technology, March, 16, 1, 2014.

[11] Montgomery, D. C., *Design and Analysis of Experiments* (5th ed.), John Wiley & Sons Inc., 2000

[12] Dean, A., Voss, D., Draguljic, D. *Design and Analysis of Experiments* (2nd ed.), Springer, 2017

[13] https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/supporting-topics/factorial-and-screening-designs/what-is-design-resolution/ (Access date: 11.04.2025)

[14] https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/doe/how-to/factorial/analyze-factorial-design/interpret-the-results/key-results/?SID=128050#step-4-determine-whether-your-model-meets-the-assumptions-of-the-analysis (Access date: 15.04.2025)

[15] https://support.minitab.com/en-us/minitab/help-and-how-to/statistical-modeling/using-fitted-models/how-to/factorial-plots/interpret-the-results/key-results/?SID=112650 - step-2-examine-the-main-effects (Access date: 15.04.2025)

AHŞAP SÜSLEME TEKNİKLERİNİN CNC MAKİNASI KULLANILARAK CAMİ MEKANINDA UYGULANABİLİRLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Evren Osman ÇAKIROĞLU

Artvin Çoruh Üniversitesi, Artvin Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, İç Mekân Tasarımı Programı/Artvin, 61evrenosman@artvin.edu.tr - https://orcid.org/0000-0001-5303-8967

ÖZET

Trabzon ilinde inşa edilen modern malzemelerin kullanıldığı camiye, Osmanlı döneminde yapılan bazı minber, mihrap ve mimari motiflerin ahşap süsleme tekniklerine uygun biçimde uygulanması amaçlanmıştır. Bilgisayar destekli üretim kapsamında CNC makinası ile üretimler yapılarak geleneksel süsleme oluşturulmaya çalışılmıştır. Modellemeler ile bitkisel ve geometrik motiflerin aslına uygun şekilde oluşturulduğu mekân elamanlarında ağaç türü olarak sarıçam ve sapelli ağaç malzemesi ile masif paneller kullanılmıştır. Cami mekânında bulunan minber, mihrap, vaiz kürsüsü, tavan süslemeleri, kenar süslemeler ve kapılarda uygulanabilirliğinin incelendiği bu çalışmada ağaç türlerinin ahşap süsleme tekniklerine uyum gösterdiği ve CNC makinası ile yapılan işlemelerin aslına uygun görünümler oluşturduğu belirlenmiştir. Bunun neticesinde yüksek teknolojili CNC makinasıyla sarıçam ve sapelli ağaç malzemelerinin geleneksel mimari motiflerde uygulamalarında uygun ağaç türü oldukları söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: CNC makinası, ahşap süsleme teknikleri, masif malzeme, Cami mimari motifler

1. GİRİŞ

Anadolu Selçuklu ve Osmanlı dönemi camilerinde ahşap oldukça fazla kullanım yerine sahiptir. Dini mekanlarda çoğunlukla mihrap, kapı, pencere kanatları, sütun direkler, vaiz kürsüsü, tavanda ve minberde ahşap malzeme görülmektedir. Anadolu Selçuklu, beylikler ve Osmanlı döneminde geometrik ve bitkisel motiflerin başta olmak üzere birçok motifin ahşap süsleme teknikleri ile müthiş eserler oluşturulmuştur. Yıllarca dayanımını koruyan ve günümüze kadar ulaşan bu eserlerin yapıldığı dönemdeki muhafaza edilme metodları ve ahşap süsleme programı kapsamında uyulan tekniklerle önemi artmaktadır. Uygulanan ağaç türünün seçimi ve doğal dayanımının dikkate alındığı bu eserler yıllar boyunca doğallığını kaybetmemişlerdir. Şimdilerde bu eserler ilk gün olduğu gibi kullanım yeri ve amacına uygun biçimde kullanılmaya devam etmektedir.

Bölgeden bölgeye farklılık gösteren cami mimarisi son Osmanlı döneminin hemen ardından yenilikçi bir anlayışla bazı geleneksel donatılar da kullanılarak ayrı çalışmalar yapılmıştır. Cami elemanlarından minber, mihrap, mahfil, son cemaat yeri, minare gibi kısımlar kullanılan malzeme çeşitliliğine göre yenilikçi anlayışta elde edilmektedir. Geleneksellikten çıkıp daha farklı geometri kullanılarak tasarımlar oluşturulmuştur. İç mekanda malzeme seçimine dikkat edilerek akustik özelikler iyileştirilmiştir. Bunun yanısıra iç mekanda bulunan yapılardaki modern oluşuma; süsleme programı bakımından geleneksel süslemeler uygulanıldığı bilinmektedir. (Taşdemir ve Erarslan, 2018). Cami mimarisi kapsamında Mimar Sinan anlayışından esinlenerek çok fazla sayıda eser meydana getirilmiştir. (Aydın ve Büyükşahin Sıramkaya, 2017).

Ahşap süsleme tekniklerinin en güzel örneklerinin başlangıcı 12. ve 13. Yüzyıl Selçuklular dönemiyle başlamıştır. Dönemin en önemli ahşap süsleme teknikleri kündekâri ve oymacılıktır. Daha sonra Beylikler ve Osmanlı döneminde ahşap süsleme teknikleri çeşitlendirilerek çoğu eserlerde farklı biçimlerde uygulanmıştır. Osmanlı döneminde önemli olan tezyinatta ahşap süsleme programına göre bitkisel, geometrik ve yazı tezyinatında çok sayıda eserler verilmiştir. (Söğütlü vd., 2014). Erken dönem Osmanlı döneminde Selçuklulardan gelen oymacılık başta olmak üzere yazılarda kufi, sülüs olarak uygulanmaktadır. Bezemelerde oluşturulan kufi, köşeli biçimde geometrik şekillerde kolaylıkla uygulanmaktadır. Bununla birlikte İslam mimarisinde çoğunlukla harflerin köşeli olması el işlemeciliğini öne çıkarmaktadır. Yuvarlak şekildeki Sülüs ise harf kısımlarındaki keskinliği düşürmektedir (Tunç, 2013). Klasik dönemde 15. Yüzyılın ortalarından sonra “kakma” adı verilen süsleme tekniği de görülmektedir.

Ahşap Süsleme programı çerçevesinde yapılan işlemlerde birçok tekniğin kullanıldığı bilinmektedir. Anadolu Selçuklu ve Osmanlı Dönemlerinde bu tekniklerden Ahşap oymacılık tekniği, Ahşap kabartma (Röliyef) tekniği, Kündekâri tekniği ve Kakma (Marketri) tekniği, Kalemişi tekniği, Çıtakari süsleme tekniği, Edirnekari süsleme tekniği ve ahşapta mukarnas süslemeleri uygulanarak döneme damga vuran eserler ortaya koyulmuştur. Ahşap süsleme tekniklerinden yararlanılarak ve görünümlerini muhafaza ederek ahşaba uygulama işlemleri çağımızın makinaları yardımıyla uygulanabilmektedir. Yüksek teknolojili CNC makinaları da bu tekniklerin uygulanması için önemli makinalardandır. Kesme, oyma, derinlik verme, 3D işlemler gibi özellikleri bulunan bu CNC makinaları ile sanatsal işlemeler yapılmaktadır. Randıman ve yüzeyler bu makinalar yardımı ile iyileştirilmektedir. (Sütçü, 2013 ; Ohuchı ve Murase, 2005). CNC makinaları ahşap işleme ve bilgisayar destekli üretime fazlaca katkıda bulunmaktadır. (Jayachandraiah ve ark., 2014). Zamandan tasarruf sağlayıp verimlilik unsurlarını iyileştiren CNC’ler kaliteli yüzeyler oluşturmaktadır (Sofuoglu, 2017, Koç vd., 2017).

Bu çalışmada Trabzon ilinde inşa edilen modern malzemelerin kullanıldığı camiye, Anadolu Selçuklu ve Osmanlı döneminde yapılan bazı minber, mihrap ve mimari motiflerin ahşap süsleme tekniklerine uygun biçimde uygulanması amaçlanmıştır. Mimari motifler, Amasya Mehmet Paşa Cami minberi ve Konya Aleaddin Cami minber kapısı kemerindeki süslemelerden oluşmaktadır. Dönemin uygulandığı süsleme tekniklerinin görünümlerine sadık kalınarak teknolojiyi de kullarak CNC makinaları ile uygulamaya çalışılmıştır. Modellemeler ile bitkisel ve geometrik motiflerin

ahşap süsleme tekniklerine göre uygun şekilde oluşturulmaya çalışıldığı mekân elamanlarında (minber, mihrap, vaiz kürsüsü, tavan süslemeleri, kenar süslemeler ve kapılar) ağaç türü olarak sarıçam ve sapelli ağaç malzemesinin CNC makinası ile uyumu incelenerek bir eser oluşturulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Ahşap süsleme sanatlarının ve tekniklerinin uygulanma yöntemlerinin ön planda tutulduğu birleştirme usullerinden faydalanılmıştır. Masif malzeme ağırlıklı üretimlerden oluşturulan parçalarda ayrıca masif paneller, masif kaplamalı malzemeler de kullanılmıştır. Bununla birlikte bazı direnç gerektiren konstrüksiyon kısımlarında az da olsa fenol formaldehit kullanılmış rutubete dayanıklı kontrplaklardan da yararlanılmıştır. Sarıçam keresteleri ve sapelli keresteleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu kerestelerden elde edilen parçalar zıvanalı, kendinden - yabancı çıtalı ve yanyana birleştirme teknikleri ile oluşturulmuştur. Kullanılan yapıştırıcı poliüretan tutkalı (Würth) olmakla birlikte sağlam bir yapıştırma sağlanmıştır.



Görsel 1. Sapelli ve sarıçam keresteleri

Bu çalışma kapsamında Sapelli *(Entandrophragma cylindricum Sprague)* ve Sarıçam (*Pinus silvestris* L.) ağaç keresteleri kullanımış olup, sapelli ağaç malzemesi çok değerli oduna sahiptir. Mobilya endüstrisinde, kaplama-kontrplak endüstrisinde, ahşap yat yapımında, kaliteli parke döşemelerinde ve sanatsal işlemelerde aranılan kırmızımsı bir renge sahip ağaç türüdür. (Lemaignen, 1986 ; Bozkurt ve Erdin, 1989). Sarıçam rengi dekoratif ve işlenebilme kabiliyeti çok yüksek (Bozkurt ve Erdin, 2000) olan, budak sayısı az ve birleştirilme özellikleri iyi olan değerli bir ağaç türüdür (Merev, 2003).

2.1. CNC Makinası ve Modelleme Programı

Bilgisayar destekli üretimin en önemli parçalarından biri olan CNC makinası, 9 kW iş mili gücüne ve 24.000 rpm maksimum iş mili hızına sahip dört eksenli bir CNC Freze Tezgahı olan Megatron

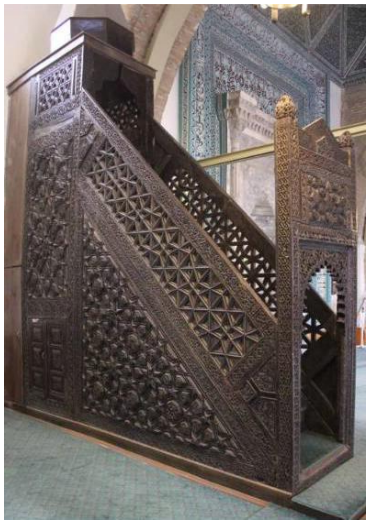
2128 (Bursa/Türkiye) markalı bir makinadır. Bütün sanatsal işlemeler ve 3D motiflerin uygulanması bu makinaya entegre Alphacam (Ver. 2023.1, Vero Software, Cheltenham, İngiltere) ile gerçekleştirilmiştir. (URL-1). Görsel 2'de kullanılan 4 eksenli CNC makinesini gösterilmektedir (mod. 2128, MEGATRON, [Bursa], [Türkiye]).



Görsel 2. CNC makinası

2.2 Konya Aleaddin Cami minber kapısı kemeri ve Mehmet Paşa Cami Minberi

Selçuklu döneminde minberlerin ahşaptan yapıldığı ve muazzam eserlerin çıkarıltığı bir örnek olan Konya Aleaddin Cami minberi hakiki kündekari tekniği ile yapılmıştır. Abanoz ağacından yapıldığı bilinen minberin bazı araştırmalara göre hint meşesi ve ceviz ağacının kullanıldığı da söylenmektedir (Erdemir, 2009). Minberde yuvarlak oyma tekniği kullanılmış olup, minber kapısı üst alınlık kısmı ve taç kısmındaki kufi hat; çift katlı oyma tekniği uygulanmıştır. Minberin korkuluk iç bölümü, kafes oyma tekniği (Ajur) tekniğiyle yapılmıştır. Minber kapısının kemerli girişi süslemeleriyle muazzamdır. Minber çok büyük boyutlu (420x320cm) değildir (Detseli, 2019). Görsel 4'te Konya Aleaddin Cami minberi gösterilmektedir.



Görsel 3. Konya Aleaddin Cami minberi

Mehmet Paşa Cami minberi Osmanlı döneminin başlarında icra edilmiş ve Anadolu Selçuklu eserlerine benzemektedir. Minberin tamamında kapısı da dahil olmak üzere mermer kullanılmıştır. Köşk ve direk bölümlerinde renkli mermerden yararlanılmıştır. Oyma teknikleri, oluklu oyma teknikleri, kafes oyma tekniği, kabartma tekniği ve mukarnasın muazzam ustalıkla kullanılmış çok yoğun süslemeli bir minberdir. Caminin dış sütun başlıklarında da kabaralara bazı süslemeler görülmektedir (URL-2). Mehmet Paşa Cami minberi Görsel.4'te gösterilmektedir.



Görsel 4. Mehmet Paşa Cami minberi ve minber kapısı

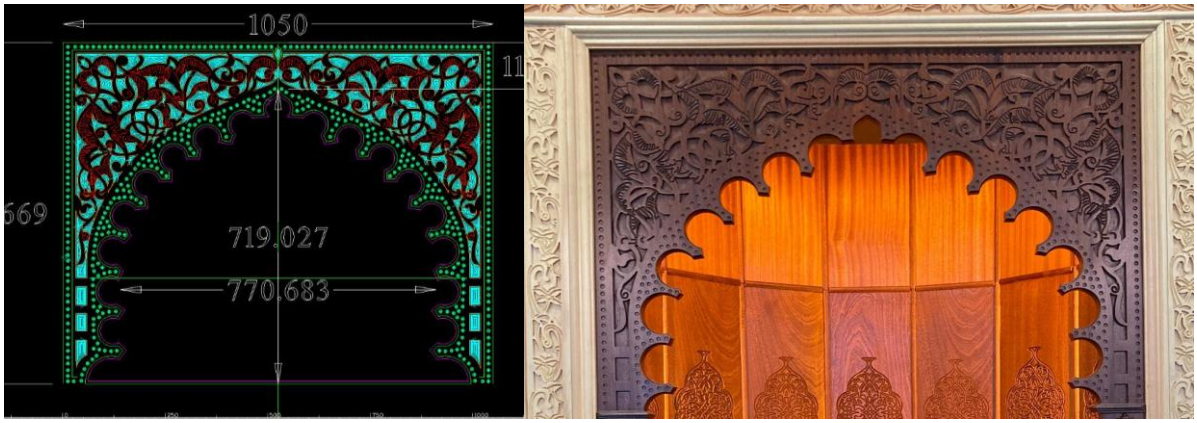
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Konya Aleaddin Cami minber kapısı kemeri ve Mehmet Paşa Cami Minberi mimari motifleri, uygulama tekniklerinin göz önünde tutularak iç mekanı tamamen ahşap süslemeler ile donatılmış olan Trabzon Çukurçayır (Görsel 5) bölgesindeki bir camiye uygulanmaya çalışılmıştır.



Görsel 5. Trabzon Çukurçayır Cami Külliyesi

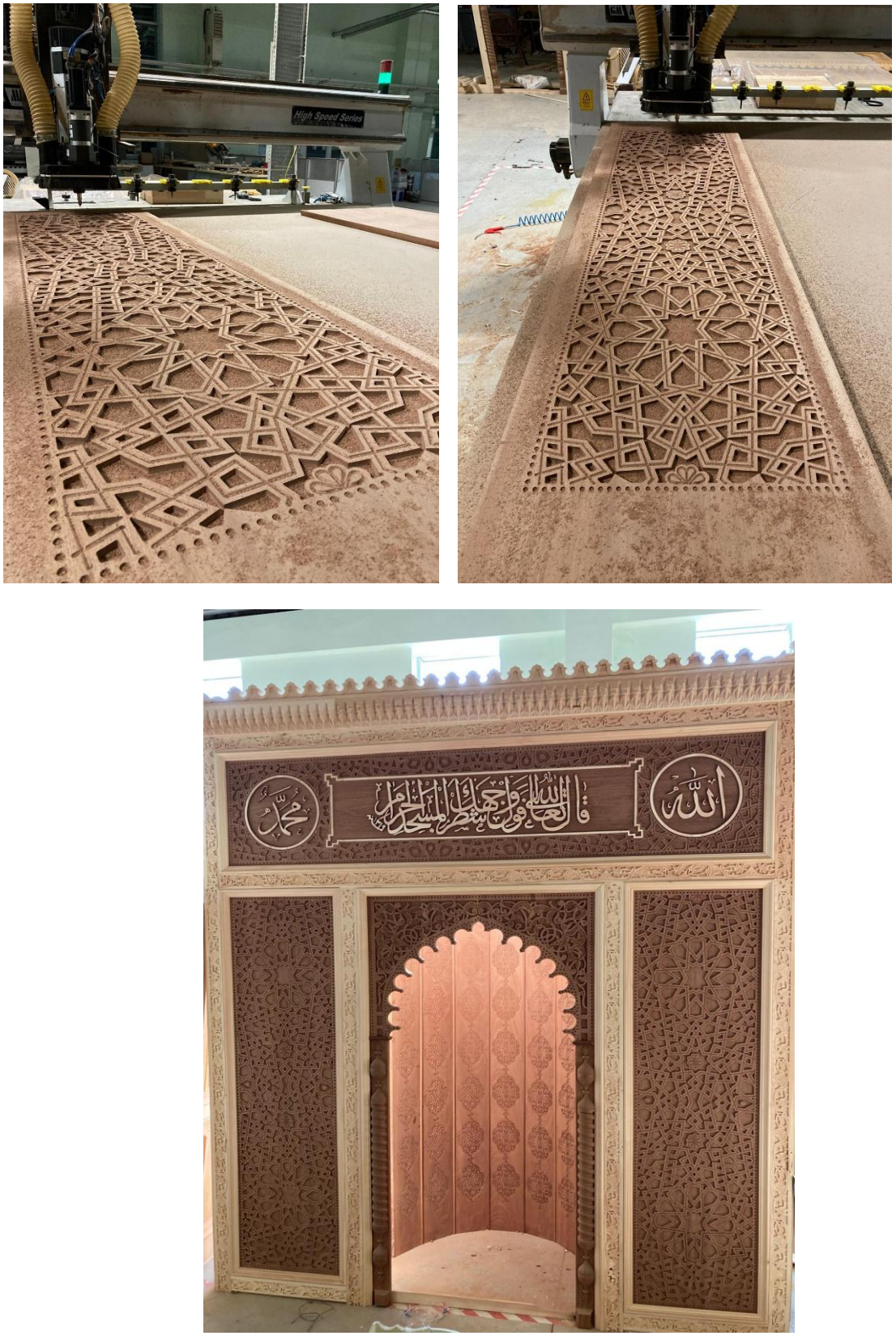
İç mekanda bulunan minber, mihrap, kenar süslemeleri, vaiz kürsüsü, kapılar ve tavan süslemeleri Konya Aleaddin Cami minber kapısı kemeri ve Mehmet Paşa Cami Minberi mimari motiflerinin uygulanması sapelli ve sarıçam ağaç malzemesi kullanılarak programlı bir Görselde uygulanmıştır. Görsel 6'da sapelli ağaç malzemesinin kullanıldığı mihrap içi kemer görülmektedir.





Görsel 6. Mihrap içi kemer

Mihrap içi kemer, Konya Aleaddin Cami minber kapısı kemeri örnek alarak üretilmiştir. Sapelli ağaç malzemesinin CNC ile uygulanması gayet başarılı bir Görselde gerçekleştirilmiştir. Mihrabın üst kısmında mukarnas ile taç kısmı oluşturulmuştur. Bununla birlikte mihrap bordürlerinde Mehmet Paşa Cami Minberi yan dik üçgen aynalığında ve minberin tamamını çevreleyen bitkisel motiflerden yararlanılmıştır. Ayrıca mihrabın yan panolarında da Mehmet Paşa Cami Minber kapısı yan desenleri kullnılarak bir kompozisyon oluşturulmuştur. Görsel 7'de mihrap yan kenar desenleri ve mihrap ön görünüm gösterilmektedir.



Görsel 7. Mihrap yan kenar desenleri ve Mihrap ön görünüm

Cami minberinde tamamıyla sapelli ve sarıçam ağaç malzemelerinin birlikte kullanıldığı, mimari motiflerin ve ahşap süsleme tekniklerinin görünümüne yakın işlemelerin gerçekleştirildiği Görsel 8'de görülmektedir. Bu minberde oyma, alçak ve yüksek kabartma teknikleri, kafes oyma teknikleri, yuvarlak oyma, oluklu oyma, mukarnas gibi tekniklerden yararlanılmıştır. Bunlar yüksek teknoloji CNC yardımıyla uygulanmıştır.



Görsel. 8 Minber Görünümü

Minber kapısı orjinaline sadık kalınarak çizimi ve modellemesi yapılmıştır. Bitkisel ve geometrik motiflerin yoğun olduğu minber kapısında Küfi hat ile Kelime-i Tevhid işlenmiştir. 5 kollu yıldız motiflerinde olduğu minber kapısı bordürle çevrelenmiştir. Sarıçam ağaç malzemesi üzerine sapelli masif kaplaması koyularak zıt renkli derinlik hissi veren bir görünüm kazandırılmıştır. Görsel 9'da minber kapısı gösterilmektedir.

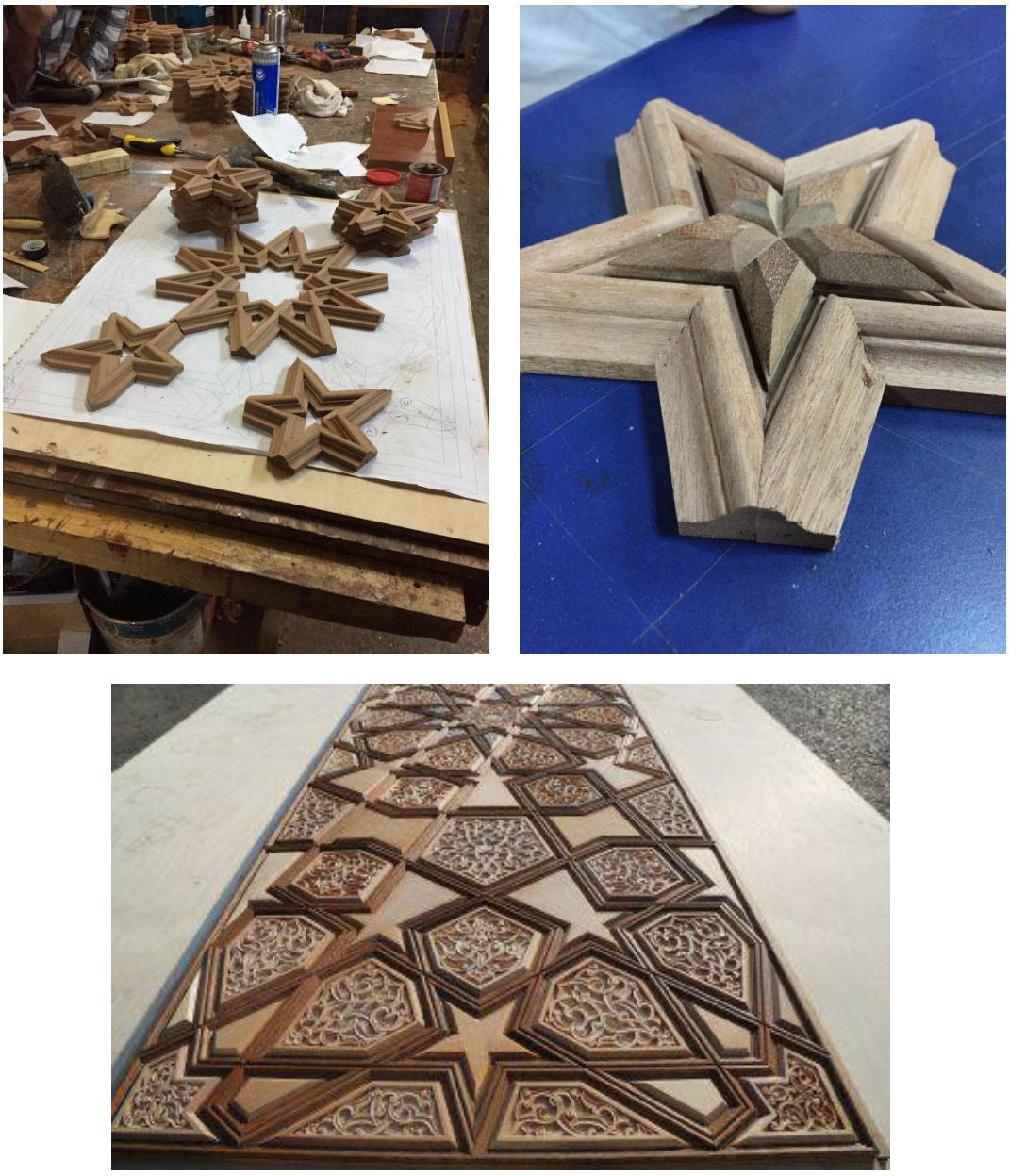


Görsel 9. Minber kapısı

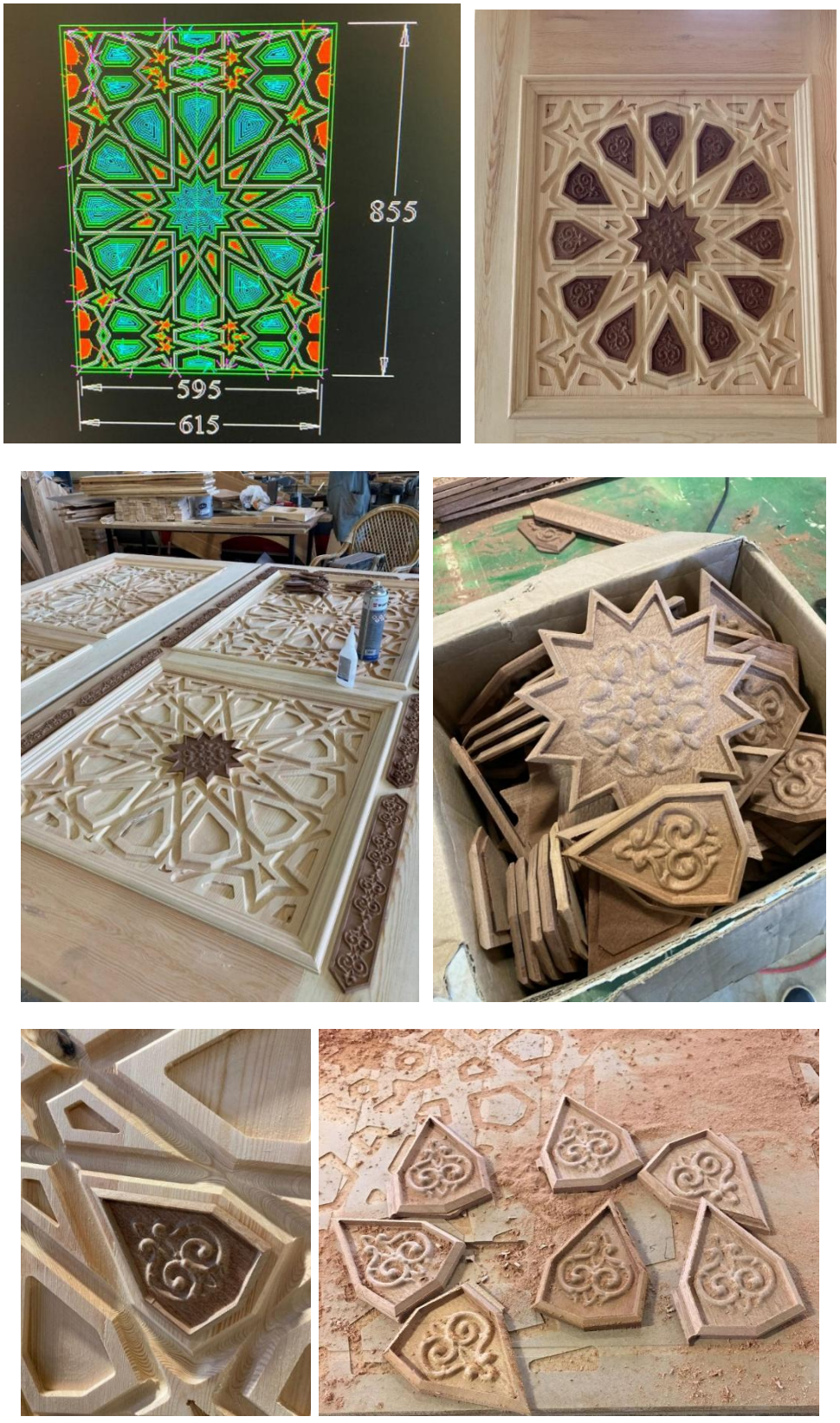
Ahşap kapıların hepsinde ahşap süsleme teknikleri ve motifler titizlikle uygulanmaktadır. Kündekâri tekniğinden esinlenerek uygulanmaya çalışılan ahşap kapılarda sarıçam ağaç malzemesi üzerine sapelli ağaç malzemeli süslemeler uygulanmaya çalışılmıştır. Kündekâri tekniği, parçaların yanyana geçme kanalı biçiminde herhangi bir birleştirme elmanı ve yapıştırma malzemesi kullanmadan, kanalların belirli bir ahenk ve düzende geçmeler biçiminde geniş yüzeysel alanlar oluşturulan tekniktir. (Eyigün ve Metin, 2007).

Bu çalışmada da cami ahşap kapılarının bu tekniğe uygun görünümde modelleme ve uygulamaları yapılmıştır. CNC makinasıyla uyumlu Alphacam programı ile kündekari parçlarının içlerine

modelleme yapılarak kabartılmıştır. Taklit kündekari tekniğine yakın Görselde yapılan Çakma ve kabartmalı kündekarili uygulamalar denenmiştir. Görünüm olarak başarılı uygulamalar elde edilmektedir. Hakiki kündekari tekniğinin uygulanması Görsel 10'da gösterilmektedir.



Görsel 10. Hakiki kündekari tekniğinin uygulanması



Görsel 11. Taklit kündekari tekniği ile uygulama



Görsel 12. Ahşap Kapılar

Vaiz kürsüsünde yine sarıçam ağaç malzemesi ağırlıklı kullanımlar bulunmaktadır. Yine burada da 12 kollu yıldız ve kündekariyi anımsatan görünüm elde edilmiştir. Oyulan kısımlara sapelli ağaç malzemesinden çokgenler yerleştirilerek meydana gelmektedir. Görsel 13'te vaiz kürsüsü görülmektedir.



Görsel 13. Vaiz kürsüsü

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sarıçam ağaç malzemesi kullanılarak CNC makinasının yardımıyla mukarnas oluşturmada gayet başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ancak sarıçamın anatomik yapısı ve özgül ağırlığından dolayı bazı problemler oluşturduğu CNC işlemeleri esnasında gözlemlenmiştir. Daha fazla zımparalama süreci, belli bölgelerde bıçak izlerinin oluştuğu, liflerin kopması gibi sorunlar meydana gelmiştir. Bunun önlenmesi için CNC makinasına entegre kullanılan Alphacam programında 3D modelleme işlemleri yapılırken daha hassas bıçak adımları, daha ince uclu kesici ve bazı CNC parametre (devir sayısı, ilerleme hızı, dalma hızı gibi) düzenlemeleri yapılması önerilebilir. Bunun yanı sıra daha sert ve işlenebilme kabiliyeti yüksek olan sapelli, ceviz, meşe gibi ağaç türleri de kullanılabilir. CNC işlemelerinde ve modellemelerinde sapelli ağaç malzemesiyle sarıçam ağaç malzemesinin; yapışma, zıt renk kavramı, 3D işlemeleri uyum göstermiştir. Ayrıca sapelli ağaç malzemesi tropik kökenli bir ağaç türü olduğundan maliyeti yüksektir. Sarıçam ise daha düşük maliyetli olmasıdan ötürü birlikte hibrid şekilde kullanılabilir. Özgül ağırlığı ve yapısı itibariyle de CNC işlemeleri diğer iğne yapraklı ağaç malzemelere göre daha kolay olduğu söylenebilir. Bu çalışmayla birlikte geleneksel ahşap süsleme tekniklerine

dikkat çekerek onların görünümlerini bozmadan farkındalık sağlamak ve yüksek teknolojiyi de kullanarak eserler oluşturulması teşvik edilmektedir.

5. KAYNAKÇA

Taşdemir, A. S., Erarslan, A., (2018). Çağdaş camii tasarımında yenilikçi bir yaklaşım. Marmara İlahiyat Cami; plan ve iç mekân özellikleri, Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi, c.13, sayı 52, ss. 55-70.

Aydın, D. Büyükşahin Sıramkaya, S., (2017). Son dönem Konya camilerinde biçimsel arayışın analizi, Türk İslâm Medeniyeti Akademik Araştırmalar Dergisi, c.12, sayı 24, ss. 67

C. Söğütlü, N. Döngel, A. Togay ve İ. Döngel, "İstanbul'da bulunan Mimar Sinan eseri cami ahşap kapı ve pencere iç kepenklerinin malzeme, boyut, süsleme ve yapım tekniği açısından incelenmesi", *Politeknik Dergisi*, c.17, sayı 2, ss. 49-57, 2014.

Tunç, F., (2013). Amasya Osmanlı camilerinde bulunan taş bezemeler, Geleneksel Türk El Sanatları, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, Yüksek Lisans tezi, Erzurum.

Sütçü, A., (2013). Investigation of Parameters Affecting Surface Roughness in CNC Routing Operation on Wooden EGP, BioResources, c.8, ss. 795–805.

Ohuchı, T., Murase, Y., (2005). Milling of wood and wood-based materials with a computerized numerically controlled router IV: development of automatic measurement system for cutting edge profile of throw-away type straight bit, Journal of Wood Science, sayı 51, ss. 278–281.

Jayachandraiah, B., Krishna, O. V., Khan P.A., Reddy R.A., (2014). Fabrication of Low Cost 3-Axis CNC Router, International Journal of Engineering Science Invention, c.3, sayı 6, ss. 1-10.

Sofuoglu, S. D. (2017). "Determination of optimal machining parameters of massive wooden edge glued panels which is made of Scots pine (Pinus sylvestris L.) using Taguchi design method", European Journal of Wood and Wood Products, 75(1), 33-42.

Koç, K. H., Erdinler E. S., Hazır E., Öztürk E., (2017). Effect on CNC Application Parameters on Wooden Surface Quality, Measurements, c. 107, ss. 12-18.

Lemaignen, G., (1986). Atlas Des Bois Tropicaux Tome I- Afrique, ss. 176-177, ATIBT (Association İnternationale Technique des Bois Tropicaux).

Bozkurt A. Y. Erdin N., (1989). Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar, İstanbul, Türkiye: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınları.

Bozkurt, A. Y., Erdin, N., (2000), *Odun Anatomisi*, İ.Ü. Orman Fakültesi, Yayın No: 466, İstanbul.

Merev, N., (2003), *Odun Anatomisi ve Odun Tanıtımı*, KTÜ Orman Fakültesi, Genel Yayın, No: 210, Fakülte Yayın No: 32, Trabzon.

URL-1 Alphacam 2023.1/Hexagon program for woodworking cad-cam-software. Access add. *https://hexagon.com/products/product-groups/computer-aided-manufacturing-cad-cam-software/alphacam*

Erdemir, Y. (2009). *Alâeddin Camii ve Türbeleri*, İl Kültür Ve Turizm Müdürlüğü Yayınları, Konya.

N. Detseli, "Selçuklu dönemi ahşap minberlerine bir örnek: Konya Alâeddin Camii minberi", *İslâm, Sanat, Tarih, Edebiyat ve Mûsıkîsi Dergisi*, sayı 33, ss. 213-239, 2019.

URL-2 https://islamansiklopedisi.org.tr/mehmed-pasa-kulliyesi, erişim tarihi 15.02.2025).

Eyigün, S. ve Metin, A.B., 2007. "Derin Bir El Mahareti Kündekâri". *Skylife Dergisi*, Ağustos sayısı.

BEYPAZARI TARİH VE KÜLTÜR MÜZESİ (NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI) MİMARİ ANALİZİ VE DÖNÜŞÜMÜ

Mimar Raşit YALÇIN

Atılım Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Öğrencisi

yalcin.rasit@student.atilim.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0163-2723

Prof. Dr. Şule PFEİFFER-TAŞ

Atılım Üniversitesi, Güzel Sanatlar Tasarım ve Mimarlık Fakültesi ve Türkiye Tarih Araştırmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi

sule.pfeiffer@atilim.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-2262-483X

ÖZET

Bu çalışma, Ankara'nın Beypazarı ilçesinde yer alan ve 19. yüzyıl ortalarında inşa edilen Nurettin Karaoğuz Konağı'nın mimari yapısını çok boyutlu bir yaklaşımla incelemeyi amaçlamaktadır. Yaklaşık 1850 yılına tarihlenen konak, Osmanlı konut mimarisinin biçimsel ve işlevsel ilkelerini taşıyan, üç katlı bir yapıdır. Giriş katı taş malzeme ile inşa edilmiş olup, avluya açılan bir geçiş mekânı olarak planlanmış; ahır, mutfak, ambar ve hela gibi yardımcı işlevlere ev sahipliği yapmıştır. Bu kat, hem konut içi üretim-tüketim döngüsünü hem de gündelik işlevleri destekleyen servis alanlarını barındırmaktadır. Üst katlar ise hımış yapı inşasına uygun olarak yapılıp ailenin yaşam alanı olarak düzenlenmiştir. Yapı, Mehmet Nurettin Karaoğuz tarafından Ankara Valiliği'ne bağışlanmış; 1997 yılında restore edilerek "Beypazarı Tarih ve Kültür Müzesi" adıyla ziyarete açılmıştır. 2014 yılında Beypazarı Belediyesi'ne devredilen konak, bugün hem mimari mirasın korunmasına hem de geleneksel yaşam kültürünün tanıtılmasına hizmet etmektedir. Çalışma kapsamında konak, baş oda (misafir odası), gelin odası, yatak odası, çocuk odası ve namaz odası gibi iç mekânları ile, orta sofa, yüklük (gömme dolap), gusülhane (banyo bölümü), sedirler (oturma düzeni), avlu, mutfak, ahır, hela ve ambar gibi işlevsel alanlarıyla bütüncül olarak analiz edilmiştir. Aynı zamanda yapıdaki pencere düzeni, kapılar, çatı örtüsü, tavan işçiliği, cihannüma ve yer döşemeleri gibi yapısal unsurlar da değerlendirmeye dâhil edilmiştir. Sonuç olarak, Nurettin Karaoğuz Konağı üzerinden gerçekleştirilen bu mimari analiz, 19. yüzyıl Osmanlı konaklarının plan özellikleri, mekânsal organizasyonu ve sosyal işlevleri üzerine bir değerlendirme sunmakta; geleneksel Türk konut mimarisine dair bilgilerin belgelenmesine ve mimarlık tarihi literatürüne katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Beypazarı Konakları, Geleneksel Osmanlı Konut Mimarisi, Mekânsal Organizasyon, 19. Yüzyıl Osmanlı Mimarisi, Mimari Analiz.

1. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI MEKÂNSAL ORGANİZASYON VE PLAN KURGUSU

Türk sivil mimarisi, çoğunlukla ahşap, kerpiç ve diğer organik kökenli malzemelerin kullanıldığı yapılardan oluşmuştur. Bu tür malzemelerin sınırlı dayanıklılığa sahip olması, geleneksel konutların uzun ömürlü olmasını engellemiş; dolayısıyla tarihsel süreçte bu yapıların izini sürmek önemli ölçüde güçleşmiştir. Özellikle inşa tekniklerinin doğa koşullarına karşı dayanıksızlığı, mevcut yapı örneklerinin sınırlı sayıda günümüze ulaşmasına neden olmuştur (Tomsu, 1950).

Anadolu coğrafyasında geleneksel konut mimarisi, tarihsel ve coğrafi koşullara bağlı olarak bölgesel çeşitlilik göstermiştir. Yapı malzemelerinin doğal olarak bulunduğu alanlarda gelişen yerel inşa teknikleri hem malzeme kullanımını hem de yapı kurgusunu biçimlendiren belirleyici bir etken olmuştur. İklimsel şartlar ve topografik özellikler, sadece yapı malzemesi seçiminde değil, aynı zamanda konutların plan düzeni ve yapım sistemlerinde de belirleyici rol oynamıştır (Kuban, 1970: 67).

Özellikle kırsal bölgelerde yer alan geleneksel konutlar incelendiğinde, bağımsız birimlerden oluşan mekânsal bir organizasyonun hâkim olduğu görülmektedir. Konut içinde birimler arası doğrudan geçiş çoğunlukla bulunmamakta; bunun yerine tüm odaların ortak bir hayat ya da sofa çevresine açıldığı bir planlama anlayışı benimsenmektedir. Bu mekânsal kurguda hayat/sofa, buluşma, geçiş ve gündelik işlevlerin yürütüldüğü merkezi bir alan olarak kullanılmaktadır (Arel, 1999: 37–40).

Geleneksel Osmanlı konutlarında, 15. yüzyıldan itibaren hayat, eyvan ve odalar konut planlamasında temel yapı taşları hâline gelmiştir. İç mekânlarda hareketli mobilyalar yerine sedir, yüklük, dolap ve niş gibi sabit mimari elemanlar kullanılmıştır. Bu mimari ögeler, yalnızca yer tasarrufu sağlamakla kalmamış, aynı zamanda mahremiyet, konfor ve işlevsellik açısından da mekânın kullanımını biçimlendirmiştir (Yürekli, 2005). Ayrıca hela, gusülhane ve hamam gibi hijyenle ilişkili birimlerin konut içerisinde yer alması, dönemin mimari anlayışının, günlük yaşamın pratik gereksinimlerine duyarlı olduğunu göstermektedir (Bektaş, 2013).

Yukarıda yer alan yapısal özellikler, Beypazarı'nda bulunan ve günümüzde müze olarak işlev gören Nurettin Karaoğuz Konağı'nda da gözlemlenmektedir. Konağın inşasında taş temel üzerinde ahşap taşıyıcı sistem tercih edilmiş; iç mekânda yüklük, ocak, gusülhane gibi sabit mimari elemanlara yer verilmiştir.

Konutun özgün kat planı ve malzeme tercihleri, dönemin inşa geleneklerine uygun şekilde biçimlendirilmiştir. Yapının restorasyon sürecinde, ahşap elemanlara yalnızca yüzeysel bakım uygulanmış, özgün malzeme korunarak temizlik ve cila işlemleriyle güçlendirilmiştir. Kapı, pencere ve tavan gibi öğelerde bu yaklaşım sürdürülmüştür. Avlu zeminine ise doğal taş döşenerek hem işlevsel hem estetik bir düzenleme yapılmıştır. Bu müdahaleler, yapının özgün kimliğini koruyarak kullanımını sürdürülebilir kılmayı amaçlamaktadır.

2. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI AVLU YERLEŞİMİ VE İŞLEVİ

Geleneksel Osmanlı konut mimarisinde avlu, iç mekânla dış çevre arasında geçiş sağlayan önemli bir mimari öğe olarak değerlendirilmiştir. Avlu, mahremiyetin korunmasına yardımcı olurken aynı

zamanda hava ve ışık dolaşımını sağlamış, böylece konutların doğayla bütünleşmesini mümkün kılmıştır (Abi, 2020). Arsanın konumu ve fiziksel özellikleri doğrultusunda şekillenen avlu tipi, özellikle iç avlulu konut planlarının gelişmesinde etkili olmuştur. Avlular, yalnızca açık alan değil; sosyalleşme, gündelik işlevsellik ve geçiş gibi amaçlarla da kullanılmıştır (Pfeifer & Brauneck, 2008).

Türk evlerinde avlu, konutun merkezinde konumlandırılarak mahremiyet sağlayan ve aynı zamanda kullanıcıyı çevreden koruyan bir alan olarak düzenlenmiştir. Bu mekân, erken dönem yerleşim anlayışında açık orta alan kurgusunun bir devamı niteliğindedir (Bozkurt & Altınçekiç, 2013: 69–91). Tek katlı yapılarda olduğu gibi, çok katlı konutlarda da avlu katlar arası erişimi sağlayan bir öğe hâline gelmiştir. Özellikle ikinci kata çıkışı mümkün kılması bakımından avlu, yapısal süreklilik ve mekânsal işlevsellik açısından önemli bir rol oynamaktadır (Usman, 1958).



Görsel 1. Nurettin Karaoğuz Konağı Avlu (Yalçın, 2025)

Yukarıda yer alan görselde yer alan Müzeye ait avlu düzenlemesi, geleneksel Osmanlı konut mimarisinde sıkça karşılaşılan çok katmanlı avlu kullanımını yansıtmaktadır. Yapının topografyaya uyumlu olarak şekillenen avlu alanı, taş döşemeli zemin kaplaması ve kademeli basamak sistemi ile konutun farklı giriş seviyeleri arasında mekânsal süreklilik sağlamaktadır. Avlunun sınırlarını belirleyen taş duvarlar hem güvenlik hem de mekânsal yönlendirme amacı taşımaktadır. Bu alan hem gündelik kullanım hem de servis işlevleri açısından yapının dış mekâna açılan yarı özel alanı olarak değerlendirilmekte, konutun işlevsel organizasyonunda merkezi bir rol üstlenmektedir.

3. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI KAPI

Geleneksel Osmanlı konutlarında kapılar, işlevsel yönlerinin yanı sıra estetik bütünlüğün bir parçası olarak değerlendirilmiştir. Konutlarda kullanılan ahşap kapılar ve dolap yüzeyleri, çoğunlukla geometrik motiflerle bezenmiş olup iç mekân tasarımını tamamlayan süslemeler içermektedir. Dolap kapaklarında yer alan oyma detaylar, mekâna özgünlük kazandırmakta; bazı dolaplarda ise güvenlik amacıyla tasarlanmış gizli bölmeler bulunmaktadır (Pfeifer & Brauneck, 2008).

Konut yapılarında dışa açılan giriş kapıları genellikle çift kanatlı olarak düzenlenmiştir. Bu kapılardan büyük olanı yük, eşya ya da hayvan geçişi gibi durumlar için kullanılmakta; küçük kanat ise günlük geçişlerde işlev görmektedir. Oda kapıları ise tek kanatlıdır ve iç mekâna doğru açılacak

şekilde konumlandırılmıştır. Açıldıklarında duvar üzerine dayanacak biçimde tasarlanmış olan bu kapılar, mahremiyetin sağlanması ve iç mekân ısısının korunması açısından genellikle odanın köşesine yerleştirilmiştir. Ortalama olarak 80 cm genişliğe ve 150 cm yüksekliğe sahip olan bu kapılar, sofa yönünden bakıldığında kemer, pervaz ve taç gibi süslemelerle çevrelenerek daha yüksek bir görünüm kazanmaktadır (Bozkurt, 2013: 37–70).

18. yüzyıldan itibaren kapılar, oda pencereleriyle görsel bütünlük oluşturacak şekilde düzenlenmiş; tasarımda kapı-pencere ilişkisi ön plana çıkarılmıştır. Bu düzenleme, kapının görsel ağırlığını azaltmakta ve pencere açıklıklarıyla eşgüdümlü bir mimari kurgu oluşturmaktadır. Konutların zemin katlarında yer alan sokak kapıları genellikle iki kanatlı olup, avluya doğrudan açılmaktadır. Günlük kullanım için tercih edilen ana kapı kanadında metal kilit mekanizmasının yanı sıra, "mandal" adı verilen ahşap bir aç-kapa sistemi yer almaktadır. Bu sistem, güvenliği sağlamanın yanı sıra pratik kullanım sunması bakımından tercih edilmiştir (Kalenderoğlu, 2006).

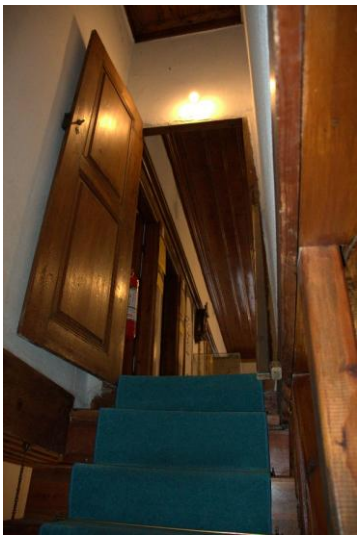


Görsel 2. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Avlu ve Konak Kapısı (Yalçın, 2025)

Yukarıda yer alan görsellerde, Konağın dış avlu kapısı ve iç giriş kapısı, geleneksel Osmanlı konut mimarisinde sıklıkla rastlanan iki kademeli geçiş sistemini yansıtmaktadır. Taş duvarlarla çevrili yüksek avlu duvarı, yapının dış çevreden mahremiyetini sağlayan koruyucu bir sınır oluşturmakta olup, ahşap çift kanatlı dış kapı, kontrollü geçişe olanak tanımaktadır. Bu kapı tipolojisi, harem ve selamlık ayrımının ilk fiziksel göstergesi olarak değerlendirilebilir. İç mekâna geçişi sağlayan ikinci ahşap kapı ise doğrudan sofa alanına açılmakta olup, üzerindeki kafesli pencere ve üstlükle birlikte konağın savunma, güvenlik ve görsel kontrol işlevlerini desteklemektedir. Her iki kapı da ahşap malzeme kullanımı, sade süsleme dili ve simetrik düzenlemeleriyle dönemin estetik anlayışını yansıtır niteliktedir. Bu geçiş alanları, konutun iç ve dış mekân ilişkisini düzenleyerek hem fiziksel hem de sosyal sınırlamaları belirleyen mimari unsurlar olarak işlev görmektedir.

Geleneksel Türk evi planlamasında her bir oda, neredeyse bağımsız bir yaşam birimi olarak düzenlenmiş, böylece evin temel yaşamsal işlevlerinin her biri bu mekânlarda karşılanabilmiştir. Bu durum, odaların sadece barınma değil, aynı zamanda mahremiyet, günlük yaşam ve aile içi

düzen açısından da önem taşıdığını ortaya koyar. Özellikle odaların sofa ile doğrudan ilişkilendirilmemesi ve girişlerin kapılar aracılığıyla içeriden denetlenebilir olması, mahremiyet ilkesine verilen önemi yansıtır. Bu tür mekânsal kurgular hem mimari hem de sosyo-kültürel düzlemde geleneksel yaşamın hassas dengelerini sürdürmeyi amaçlamıştır (Şeran, 2014).



Görsel 3. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konak İç Kapısı (Yalçın, 2025)

Geleneksel Osmanlı konut mimarisinde, katlar arası geçişi sağlayan merdivenlerin başında konumlandırılan kapılar, yapı içerisindeki mahremiyet anlayışının mekânsal düzeyde temsili olarak değerlendirilir. Bu kapılar genellikle "rüzgârlık" veya "kat kapısı" olarak adlandırılır ve kullanıcıların bir üst kata çıkmadan önce içeridekilerin haberdar olmasını sağlayacak bir eşik mekânı işlevi görür. Aynı zamanda sıcak-soğuk hava akışını sınırlayarak iç mekân konforunu koruyan bir tampon bölge oluşturur. Bu mimari unsur hem görsel mahremiyeti hem de sosyal hiyerarşiyi gözeten geleneksel yaşam tarzının önemli bir bileşeni olarak konak yapılarında sıklıkla yer bulmuştur.

4. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI ÇATI

Geleneksel Osmanlı konut mimarisinde çatı yapıları, yapı tipolojisinin en karakteristik öğelerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ahşap konutların üst örtü sistemi, genellikle kırma, beşik ya da bu iki formun birleşimiyle oluşan karma çatılar şeklinde planlanmıştır (Kuban, 1995). Çatı formu, yapıların iklim koşullarına uyumlu olmasını sağlarken aynı zamanda estetik bütünlüğü destekleyen mimari bir unsur olarak değerlendirilmiştir.

19. yüzyıldan itibaren Batılılaşma sürecinin mimariye yansımasıyla birlikte, geleneksel çatı sistemlerinde bazı farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu değişiklikler sadece çatı formlarında değil, aynı zamanda saçak yapıları, çıkmalar ve çatıya eklenen mimari elemanlarda da kendini göstermiştir. Bu dönemde çatılar daha karmaşık hale gelmiş; eğim, yükseklik ve silüet gibi özelliklerde çeşitlilik artmıştır (Yağcı, 2019: 66–75).

20. ve 19. yüzyıllarda yaygın olarak kullanılan çatı örtüsü malzemesi kiremittir. Özellikle 19. yüzyıl sonrasında ithal edilen Marsilya tipi kiremit, geleneksel Osmanlı konutlarında da kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, "alaturka kiremit" olarak adlandırılan geleneksel çatı kaplama malzemesi tamamen terk edilmemiş; birçok yapıda bu tür kiremit kullanımı sürdürülmüştür. Eğimli ve karmaşık çatı yüzeylerinde ise metal örtü elemanlarına başvurulmuştur (Yağcı, 2016: 197–208).



Görsel 4. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konak Çatısı (Google Earth., 2024)

Yukarıda yer alan görselde, Nurettin Karaoğuz Konağı'na ait çatı sisteminin yukarıdan görünümü yer almaktadır. Kırma çatı biçiminde düzenlenen bu örtü sistemi, yapı kütlesinin merkezine yönelen simetrik eğimlerle şekillenmiştir. Kiremit kaplama, çatı örtüsünde tercih edilen malzeme olarak dikkat çekmekte; bu uygulama, dönemin geleneksel malzeme kullanımıyla uyum göstermektedir. Çevresel unsurların korunmasına yönelik saçak çıkmaları ve çatı eğimi, iklim koşullarına uygunluk açısından işlevsel nitelik taşımaktadır.

5. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI CİHANNÜMA

Osmanlı konut mimarisi, yayılım gösterdiği farklı coğrafyalarda iklim, doğal çevre ve yerel kültürlerin etkisiyle biçimsel çeşitlilik göstermiştir. Ancak bu farklılıklara rağmen, Osmanlı sivil mimarisinde bazı karakteristik öğeler bütünlük içinde korunmuştur. Bu karakteristik öğelerden biri yapıların üst katlarında yer alan ve çevreyle görsel etkileşimi artıran cihannüma mekânlarıdır (Eldem, 1954).

Cihannümalar, üst katlarda konumlanan ve genellikle yapıya manzara ile doğrudan bir ilişki kurma olanağı tanıyan mimari birimlerdir. Farsça kökenli olan ve "dünyayı gören" anlamına gelen bu terim, Osmanlı sivil mimarisinde çevreye hâkim ve çoğunlukla camekânlı bir hacmi tanımlamak için kullanılmıştır (Akın, 1995: 510). Bu yapılar hem estetik değer hem de işlevsel kullanım açısından konutların önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Cihannümalar, kullanıcıya geniş bir görüş açısı sunmanın yanı sıra, iç mekâna ferahlık kazandırmak amacıyla planlanmıştır.

Osmanlı dönemi konutlarında cihannümalar, sıklıkla yapıların cephesine doğru taşkın şekilde kurgulanarak hem mimari silueti zenginleştirmiş hem de cephedeki hareketliliği artırmıştır. Bu

mekânlar geleneksel konut kültürünün manzara, ışık ve hava ile kurduğu ilişkinin bir uzantısı olarak değerlendirilmiştir (Arseven, 1983: 22).



Görsel 5. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konak Cihannüma (Yalçın, 2025)

Yukarıda yer alan görselde, Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı'nın üst katında yer alan cihannüma bölümü görülmektedir. Ahşap taşıyıcı elemanlar üzerinde yükselen bu çıkma, yapı cephesinden dışa doğru taşkın biçimde düzenlenmiş; korkuluklar, destek konsolları ve geniş açıklıklı pencerelerle çevreyle görsel ilişki kuracak şekilde tasarlanmıştır. Cihannümanın cephesi boyunca uzanan ahşap doğrama sistemli pencere düzeni, geleneksel Osmanlı konutlarındaki üst kat geometrisine uygun bir biçimde yerleştirilmiştir.

6. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI CUMBA (ÇIKMA) UYGULAMALARI

Geleneksel Osmanlı konut mimarisinde, çıkma ya da cumba olarak adlandırılan mekânsal uzantılar, yapıların üst katlarında dışa doğru konsol yapılarak oluşturulmuştur. Bu çıkmalar, yalnızca estetik bir öğe olmakla kalmayıp aynı zamanda mekânsal verimliliği ve işlevselliği artıran çözümler sunmaktadır. Cumbalar, her bir odanın kendi hacmi içerisinde dışa taşarak konutun genel planlamasında esneklik kazanmasını sağlamış; cephe yüzeyinde görsel hareketlilik oluşturarak mimari kimliğe katkı sunmuştur (Altıner & Budak, 1999: 24–40).

Cumba düzenlemeleri, dar sokak dokusuna sahip Osmanlı şehirlerinde özellikle dikkat çeken öğeler arasında yer almaktadır. Bu çıkmalar sayesinde hem manzara yönelimi hem de doğal ışık alımı optimize edilmiştir. Aynı zamanda cumbalar, yapının iç mekânına ek hacim kazandırarak özellikle üst kat kullanım alanlarını genişletmiştir (Şenyurt, 2016: 87–103).

Ahşap kirişlerle dışa taşan cumbaların yapısal dayanıklılığı, "eliböğründe" olarak adlandırılan destekleyici payandalarla sağlanmıştır. Bu payandalar hem taşıyıcı sistemin stabilitesini artırmakta hem de cephede estetik bütünlüğü destekleyen bir tasarım öğesi işlevi görmektedir. Ahşap çatkı sistemi, çoğunlukla çivili birleşim teknikleri ile sabitlenmiş; böylece çıkmaların uzun ömürlü ve sağlam yapılar olarak işlevini sürdürmesi amaçlanmıştır (Hersek, 2000).

7. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI PENCERE DÜZENİ VE AYDINLATMA

Geleneksel Osmanlı konut mimarisinde pencere düzeni, yapının kat planı, güvenlik gereksinimleri ve iklim koşulları doğrultusunda farklılaşan bir tasarım anlayışı ile şekillenmiştir. Zemin katta yer alan pencereler, genellikle daha küçük boyutlarda düzenlenmiş; bu açıklıklar demir korkuluk ve ahşap kafes elemanları ile donatılarak hem mahremiyet hem de güvenlik açısından koruma sağlamıştır. Ayrıca, zemin kat pencereleri genellikle yüksek konumda yerleştirilmiş ve dışarıdan iç mekânın doğrudan görülmesi engellenmiştir (Erdoğan & Yüksek, 2013: 93–103).

Üst katlarda ise pencere sayısı ve açıklık boyutları artırılmıştır. Genellikle zemin kattaki pencerelerle aynı genişliğe sahip olan bu açıklıklar, yüksekliği yaklaşık iki kat fazla olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu düzenleme, yapı içinde doğal ışık miktarını artırmakta ve havalandırmayı kolaylaştırmaktadır. Aynı zamanda bu oran, yapı cephesine ritmik bir bütünlük kazandırarak estetik bir kompozisyon oluşturmuştur (Erdoğan & Yüksek, 2013).

Akslar arasında düzenlenen pencere açıklıkları, genellikle mekânlara üç yönden manzara ve ışık alma imkânı sunmuş; böylece doğal aydınlatma ve hava dolaşımı sağlanarak sağlıklı yaşam koşulları desteklenmiştir. Bu uygulama, Osmanlı konut sisteminin geniş coğrafyalarda uzun süre boyunca uygulanmasına olanak tanıyan temel özelliklerden biri olmuştur (Uluengin, 1998).

Pencere boyutları ve konumlandırmaları, odanın kullanım amacı ve konutun yönlenmesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Özellikle yazlık olarak düzenlenen mekânlarda, daha büyük açıklıklara yer verilmiş ve doğal havalandırma ile mevsimsel konforun artırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda, pencere düzenlemesi yalnızca aydınlatma değil; aynı zamanda iklime uyumlu yaşam koşulları sağlama amacı da taşımaktadır (Uşma, 2021: 227–259).



Görsel 7. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Pencere Düzeni (Yalçın, 2025)

Yukarıda yer alan görselde, konağın cephe düzeninde yer alan pencere kurgusu gözlemlenmektedir. Geleneksel Osmanlı konut mimarisine özgü bu düzenlemede, zemin katta küçük boyutlu ve demir parmaklıklı pencereler yer almakta olup, bu düzen mahremiyeti ve güvenliği sağlama amacı taşımaktadır. Üst katlarda ise daha büyük boyutlu, simetrik yerleştirilmiş ahşap doğramalı pencereler görülmektedir. Bu pencereler hem iç mekâna doğal ışık girişi sağlamakta hem de yapıya ritmik bir cephe düzeni kazandırmaktadır. Pencerelerin bu hiyerarşik yerleşimi, mekânların işlevine göre aydınlatma ve dışa açılma ihtiyaçlarının dikkate alındığını göstermektedir.

8. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI TAVAN İŞÇİLİĞİ

Anadolu'daki geleneksel Türk evi mimarisinde tavanlar, yalnızca örtü işlevi görmekle kalmamış; aynı zamanda mekânın görsel kimliğini belirleyen önemli bir tasarım unsuru olarak değerlendirilmiştir. Mekânın işlevine ve kullanım alışkanlıklarına göre biçimlenen tavanlar, alt örtüyle bütünlük kuracak şekilde düzenlenmiş; yapının estetik bütünlüğünü tamamlayıcı nitelikte ele alınmıştır (Küçükerman & Güner, 1995).

Tavan yüzeylerinde kullanılan süsleme teknikleri hem sanatsal hem de zanaatkârlık yönü güçlü uygulamalardır. Bu bağlamda kündekari, oyma, boyama ve kalem işi teknikleri en sık başvurulan yöntemler arasında yer almıştır. Kündekari tekniği, küçük ahşap parçaların geçme yöntemiyle birleştirilmesiyle oluşturulan geometrik yüzey düzenlemelerinden oluşurken; oyma tekniği, ahşap yüzeylerin derinlemesine işlenerek dekoratif motiflerle zenginleştirilmesine dayanmıştır. Boyama uygulamalarında genellikle aşı boyası kullanılmış; yüzeylere çeşitli renk ve desenlerde bezemeler işlenmiştir. Kalem işi süslemelerde ise yüzey, öncelikle kaynamış bezir yağı ve macun ile düzeltilmiş; ardından aşı boyaları ile motifler uygulanmıştır. Bu teknikler sayesinde tavanlar, yalnızca işlevsel değil aynı zamanda sanatsal değeri yüksek birer mimari unsur hâline gelmiştir (Bozkurt, 2013: 37–70).

Tavan işçiliği, özellikle geniş odalarda dikkat çeken merkezi motifler olan "tavan göbekleri" aracılığıyla hem görsellik hem de yapısal denge açısından öne çıkmıştır. Bu merkezi düzenlemeler, mekânın iç estetiğini güçlendirmenin yanı sıra, tavanın taşıyıcı sistemine de katkı sağlamıştır (Eldem, 1968).



Görsel 8. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Zemin Kat Tavan (Yalçın, 2025)

Yukarıda yer alan görselde, müze olarak işlev gören yapının giriş katına ait tavan sistemi yer almaktadır. Bu bölüm, yapının özgün durumunu koruyan nadir alanlardan biri olup, 19. yüzyılda inşa edildiği döneme ait strüktürel özellikleri yansıtmaktadır. Tavan yapısında masif ahşap kirişler kullanılmış, taşıyıcı elemanlar ise birbirine geçme ve destekleyici düşey-diyagonal elemanlarla güçlendirilmiştir. Ahşap malzemenin doğal dokusu korunmuş ve herhangi bir yapısal müdahaleye uğramadan sadece son restorasyon sırasında yüzey cilalama işlemi uygulanarak koruma altına

alınmıştır. Bu durum, mekânın otantik karakterini yitirmeden geleneksel Osmanlı sivil mimarisinin strüktürel detaylarının belgelenmesi açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir.

9. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI YER DÖŞEMESİ

Geleneksel Türk konutlarında iç mekân organizasyonu, iklimsel koşullara duyarlılık gösteren bir tasarım anlayışıyla biçimlendirilmiştir. Odaların yazlık ve kışlık olarak ayrılması, mevsimsel farklılıklara uygun konfor düzeyinin sağlanmasını amaçlamıştır. Bu bağlamda, yer döşemesi elemanları da hem yapım malzemesi hem de mekânsal işlev açısından değişkenlik göstermiştir (Küçükerman, 1973). Yazlık odalar, genellikle serinliği artırmak amacıyla kuzey yönlü cephelerde konumlandırılmış; doğal hava dolaşımının sağlanması için geniş açıklıklara ve yüksek tavanlara sahip olacak şekilde planlanmıştır. Bu mekânlarda kullanılan yer döşemeleri çoğunlukla ahşap malzemeden yapılmış olup, ısıyı dengeleme ve mekânın serin kalmasını sağlama görevini üstlenmiştir. Ahşap döşemeler, doğal havalandırmaya katkı sağlamanın yanı sıra kullanıcı konforunu da artırıcı özellik göstermiştir.

Kışlık odalarda ise ısı yalıtımı öncelikli bir tasarım kriteri olmuş; daha kalın duvarlı, güneye bakan ve korunaklı alanlara yerleştirilen bu odalarda, yer döşemeleri taş veya kalın ahşap kaplamalardan oluşmuştur. Bu tür malzemeler, mekânın ısıyı uzun süre muhafaza etmesini desteklemiş ve soğuk mevsimlerde iç ortam sıcaklığının korunmasına katkı sağlamıştır. Böylelikle yer döşemesi, yalnızca fiziksel zemin değil; aynı zamanda mevsimsel konforun sağlandığı önemli bir yapı bileşeni olarak değerlendirilmiştir (Küçükerman, 1973).



Görsel 9. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Yer Döşemeleri (Yalçın, 2025)

Yukarıdaki görselde yer alan yer döşemesi, konağa ait iç mekân düzenlemesinde kullanılan geleneksel ahşap zemin kaplamasını göstermektedir. Döşeme, birbirine bitişik geniş tahta plakalardan oluşmakta olup, yüzeydeki doğal budak izleri ve çivileme noktaları üretim tekniği hakkında bilgi vermektedir. Yatay doğrultuda yerleştirilen bu plakalar, dönemin yerel marangozluk uygulamaları doğrultusunda mekâna yerleştirilmiştir. Ahşabın cilalı yüzeyi, malzemenin korunmasına yönelik uygulamaları yansıtmakta ve konutun özgün zemin karakteristiğini

sürdürmektedir. Bu uygulama, Osmanlı konut mimarisinde yaygın olarak tercih edilen zemin kaplama tekniklerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

10. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI SOFA

Geleneksel Türk konut mimarisinde sofa, yapı içerisindeki temel mekânsal birimlerden biri olarak konumlanmış ve konut planlamasının merkezinde yer almıştır. Sofa, odaların etrafında düzenlendiği geçiş alanı niteliği taşımakta; hem iç mekânlar arası dolaşımı sağlamada hem de aile bireylerinin ortak kullanımında olan sosyal bir alan olarak hizmet vermektedir (Kuban, 1995). Sofa kavramı, göçebe Türk yaşam kültüründen gelen çadırlar arası boşluk anlayışının mimari bir uzantısı olarak gelişmiş; bu doğrultuda iç ve dış mekânlar arasında geçiş sağlayan bir ara mekân işlevi görmüştür (Günay, 1998).

Sofa mekânları, bölgesel iklim koşullarına göre açık, yarı açık ya da kapalı biçimde düzenlenmiştir. Açık sofalı düzen, özellikle sıcak iklim bölgelerinde tercih edilirken; soğuk ve sert iklim koşullarında kapalı sofa biçimi yaygınlık kazanmıştır. Sofalar, tüm odaların bir araya geldiği, ortak yaşantının sürdüğü mekânlar olup; aile içi iletişimin, sosyal ilişkilerin ve gündelik yaşamın merkezi konumundadır. Ahşap sütunlar, geniş açıklıklı pencereler ve eyvan eklentileriyle hem görsel hem de yapısal açıdan zenginleştirilmiştir (Kunduracı, 2016).

Bu mekânlar aynı zamanda yapı içerisinde katlar arası geçişin düzenlendiği yerlerdir. Sofalarda yer alan merdivenler, üst katlara ulaşımı sağlayarak yapının düşey sirkülasyonunu düzenlemekte; böylece mekânın işlevselliği artırılmaktadır. Dış sofalı plan tiplerinde, köşe sofalı ve eyvanlı sofa düzenlemeleri özellikle yaygın kullanılmıştır. Bu tür yerleşim biçimi, sofanın açık veya yarı açık olarak daha geniş bir kullanım sunmasına olanak tanımış; yaşam alanını çevreleyen ve onu tamamlayan bir bileşen hâline gelmesini sağlamıştır (Meraki, 2001).



Görsel 10. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Orta Sofa (Yalçın, 2025)

Yukarıda yer alan görselde, konağın birinci katında yer alan orta sofa mekânı görülmektedir. Sofa, konutun iç sirkülasyonunu sağlayan merkezî bir alan olarak işlev görmektedir. Mekânda ahşap tavan kaplaması ve döşeme elemanları, dönemin yapım tekniklerine uygun biçimde düzenlenmiş olup, doğal ışığın mekâna alınmasını sağlayan üçlü pencere dizisi, mekânsal aydınlatmayı

desteklemektedir. Sofa alanı, çevresinde yer alan odalarla doğrudan ilişkili olup, yapının iç mekân organizasyonunun merkezinde yer almaktadır.

11. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI HAREM VE SELAMLIK

Geleneksel Türk evi, İslam kültürünün mahremiyet ve toplumsal düzen ilkelerine uygun biçimde tasarlanmış; mekânsal organizasyonu bu sosyal normlar doğrultusunda şekillenmiştir. Yapının merkezinde yer alan avlu, içe dönük yaşamı destekleyen temel mekânsal unsur olup; tüm mekânlar bu avlu etrafında konumlandırılmıştır. Avlu, hem sosyal etkileşimin gerçekleştiği bir açık alan hem de iç mekânların dış dünya ile olan bağlantısını sınırlayan bir tampon bölge işlevi görmüştür (Kuban, 2017).

Zemin katın sokak cephesine kapalı olması, evin dış etkenlere karşı korunaklı olmasını sağlamış; aynı zamanda yapının mahremiyet esasına dayalı kurgusunu desteklemiştir. Bu yapı anlayışı, geleneksel Türk evlerini dışarıdan izole ederken, iç mekânda geniş, ferah ve çok işlevli yaşam alanlarının oluşturulmasına olanak tanımıştır. İslam mimarisine özgü olarak geliştirilen bu içe dönüklük prensibi, ev halkının sosyal yaşamı ile dış dünyanın fiziksel ve görsel etkileri arasında denge kurmayı hedeflemiştir (Cansever, 2013).

Bu bağlamda Türk evi, harem ve selamlık olmak üzere iki ana bölümde planlanmıştır. Selamlık bölümü, konukların ağırlandığı, dışa daha açık bir kullanım alanı sunarken; harem bölümü yalnızca ev halkının erişimine açık olan ve günlük yaşamın sürdüğü özel alan olarak kurgulanmıştır. Bu ayrım, özellikle çok odalı konak yapılarında belirgin hâle gelmiş; odaların, mutfak ve hizmet birimlerinin yerleşimi bu kurguya uygun biçimde planlanmıştır.



Görsel 11. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı (Yalçın, 2025)

Yukarıda yer alan görselde, konağın iç mekân organizasyonu görülmektedir. Sağ tarafta, geleneksel giysiler içerisindeki kadın figürlerinin yer aldığı oda, evin harem bölümüne ait kadınlara özgü oturma alanı olarak düzenlenmiştir. Hemen bitişiğinde yer alan mutfak mekânı ise işlevsel bütünlük açısından bu alana hizmet vermektedir. Sol tarafta kalan koridor ve geçiş alanı ise, yapının dolaşım sistemine dâhil olan ve odalar arası bağlantıyı sağlayan bir genel aks niteliği taşımaktadır. Bu düzenleme, geleneksel harem-selamlık ayrımına uygun olarak işlevsel ve sosyal ayrışmayı mekânsal düzeyde yansıtan bir örnek teşkil etmektedir.

12. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI ODA

Geleneksel Türk evi mimarisinde oda, yapının en temel yaşam birimi olarak ele alınmakta; her bir oda, konut içerisindeki bireylerin gündelik yaşantılarını tüm yönleriyle karşılayacak şekilde işlevsel biçimde kurgulanmaktadır. Bu yapı anlayışında odalar, çok işlevli bir mekânsal organizasyonun ürünü olup; aynı anda hem oturma hem yatma hem de yemek hazırlama ve yeme işlevlerini bir arada barındıracak biçimde düzenlenmiştir (Kunduracı, 2016).
Odaların iç mekân donatıları arasında sedir, yüklük (gömme dolap), ocak nişi ve dolap sistemleri yer almakta; bu unsurlar hem kullanım kolaylığı sağlamakta hem de estetik açıdan mekânın bütünlüğünü tamamlamaktadır. Sedirler, genellikle duvar boyunca yerleştirilmiş sabit oturma elemanları olup; gündüz oturma, gece ise yatma amacıyla kullanılmıştır. Yüklükler ise hem kişisel eşyaların hem de yatak takımlarının muhafaza edildiği dolap sistemleri olarak mekânın içine gömülü şekilde tasarlanmıştır.
Odaların iç mekân kurgusunda dikkat çeken bir diğer unsur ise ahşap işçiliğidir. Kapı, pencere, dolap kapağı, tavan kaplaması ve merdiven korkuluklarında yer alan ince ahşap işçilikleri; yalnızca yapıya işlevsellik kazandırmakla kalmayıp aynı zamanda geleneksel el sanatlarının estetik boyutunu da yansıtmaktadır. Ahşabın detaylarda özenle işlenmiş olması, geleneksel konut mimarisinde zanaatkârlığın önemli bir mimari ifade unsuru olarak yer aldığını göstermektedir (Küçükerman & Güner, 1995).
Her oda, konutun sosyal ve fiziksel organizasyonuna göre konumlandırılmış; yapı içi hiyerarşi, kullanım amacı ve iklimsel koşullar göz önünde bulundurularak mekânsal bütünlük içinde planlanmıştır. Bu durum, geleneksel Türk evinin yalnızca mimari değil, aynı zamanda kültürel bir yaşam modeli sunduğunu da ortaya koymaktadır.

Konakta yer alan düğün odası, nişan odası, çocuk odası, kış odası ve misafir odası gibi farklı adlandırmalar, her ne kadar benzer mekânsal işlevlere sahip olsalar da dönemin sosyal yaşamına, aile yapısına ve kültürel değerlerine dair özgün birer tanıklık sunar. Bu adlandırmalar, geleneksel konut mimarisinde yalnızca fonksiyonel ayrımları değil, aynı zamanda kültürel belleği ve toplumsal ilişkiler ağını yansıtan bir miras niteliğindedir. Mekânın kullanım biçimi kadar adlandırma pratikleri de kültürel süreklilik açısından önem taşımaktadır. Yapıda fonksiyonel odalar ilk katta yer alırken aile bireylerinin genel olarak kullandığı odalar ise mahremiyeti sağlamak açısından ikinci katta yer almıştır.

13. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI BAŞODA

Orta Asya Türk çadır geleneğinden gelen çok işlevli mekân anlayışı, yerleşik yaşama geçişle birlikte geleneksel Türk evlerinin planlamasında belirleyici bir rol oynamıştır. Bu yaşam biçiminde ortak kullanım alanları ve esnek mekânsal kurgular, zamanla avlular ve odalar etrafında şekillenmiş yapılar hâlini almıştır. Göçebe yaşamın çevreyle kurduğu ilişki, yerleşik düzende avluya verilen önemi artırmış; bu mekânlar evin sosyal ve kültürel dokusunun temel öğeleri arasında yer almıştır (Küçükerman & Güner, 1995).

Geleneksel Türk konutlarında bulunan her bir mekân, kullanıcının günlük yaşam alışkanlıklarına, sosyal rollerine ve kültürel beklentilerine uygun biçimde düzenlenmiş; mekân kimliği, iç mimari çözümler ve donatılar aracılığıyla belirginleşmiştir. Mekânın işlevsel kurgusu kadar süsleme öğeleri, mobilya yerleşimi ve malzeme kullanımı da odaya özgün bir karakter kazandırmıştır (Turkan & Koşanlar, 2022: 497–527). Bu doğrultuda, başoda konutun en önemli ve temsil niteliği taşıyan mekânı olarak öne çıkmaktadır. Başoda, evin en avantajlı konumunda yer almakta; genellikle yapının köşe bölümünde, birden fazla cepheye açılan, ışık ve hava sirkülasyonu açısından zengin bir konumda planlanmaktadır. Odanın mimari ve dekoratif unsurları, kullanılan malzemeden ışıklandırma elemanlarına kadar, misafire gösterilen önemin mekânsal yansımasıdır. Başoda tavanları çoğunlukla bezemeli olup; kandil nişleri, sedir düzenlemeleri ve pencere yerleşimi ile diğer odalardan farklılaşmaktadır (Yürekli & Yürekli, 2005: 16; Kuban, 1995: 150–151).

14. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI GELİN ODASI

Türk çadır geleneğinde, evlilik sonrası yeni kurulan aile birimine ayrı bir çadır tahsis edilmesi, toplumsal yapının mahremiyet ve bağımsızlık esasına dayandığını göstermektedir. Yeni çadır kuruluncaya dek, mevcut çadırın bir bölümü perde ile ayrılarak geçici bir kullanım alanı oluşturulmuştur. Kalabalık aile yapılarında ise çadır iç mekânı, bölmeler aracılığıyla farklı işlevlere ayrılarak çok yönlü bir kullanım düzeni oluşturulmuştur (Deveci, 2017: 434–452).

Anadolu'ya yerleşim sürecinin ardından, Türk çadır kültürünün mekânsal prensipleri yerleşik mimariye yansımış; aile yapısının geleneksel çok kuşaklı niteliği konut planlamasını doğrudan etkilemiştir. Geniş aile modelinin yaygın olduğu bu yapı düzeninde, her bireyin ya da çekirdek ailenin yaşamını sürdürebileceği bağımsız odalar planlanmıştır. Evlilik sonrası oluşan yeni aile birimi için mevcut konut içinde ayrılan yaşam alanları, "gelin odası" olarak adlandırılmıştır. Bu mekânlar hem fonksiyonel ihtiyaçlara hem de sosyal mahremiyet ilkelerine yanıt verecek biçimde tasarlanmıştır (Hacıbaloğlu, 1989).

Geleneksel Anadolu konutlarında gelin odaları, yapının diğer odalarından ayrışan özel bir konum ve düzenleme ile ele alınmıştır. Oda içi donatılar arasında ocak, sedir, gömme dolap, gusülhane ve yatak alanı yer almakta; bu unsurlar yeni kurulan ailenin günlük yaşam gereksinimlerini karşılamaya yönelik olarak planlanmaktadır. Estetik bağlamda da farklılaşan bu odalar, bezeme unsurları bakımından diğer mekânlara kıyasla daha özenli biçimde düzenlenmiştir. Tavan süslemeleri, pencere perdesi yerleşimi ve duvar dekorasyonları, odanın kullanım amacına uygun bir atmosfer oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Halaç & Sağlam Doruk, 2019).

15. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI YATAK ODASI

Geleneksel Osmanlı konut mimarisinde yatak odaları, mahremiyetin öncelendiği, gündelik kullanım dışında bireysel dinlenme ve uyku ihtiyaçlarının karşılandığı işlevsel mekânlar olarak planlanmıştır. Bu odalar, genellikle dış cepheye daha kapalı, sessizliğin sağlanabileceği noktalarda konumlandırılmıştır. Bu durum, hem ev halkının kişisel alan ihtiyacına hem de konutun genel işleyişine uygun bir kullanım düzeni oluşturmayı amaçlamıştır (Kuban, 1995: 150–151).

Yatak odalarında yer alan temel sabit donatılar arasında sedir, gömme dolap, yatak platformu ve gusülhane gibi bileşenler bulunmaktadır. Sedirler gündüz oturma, gece ise yatma amacıyla kullanılabilirken; gömme dolaplar giysi, yorgan ve diğer özel eşyaların muhafazası için yapı bütünlüğüne gömülü biçimde tasarlanmıştır. Gusülhaneler ise mümkünse odanın içinde, değilse hemen yakınında konumlandırılarak mahremiyet içinde temizlik ihtiyacının karşılanmasını sağlamıştır. Yatak odalarının düzenlemesinde fonksiyonellik ve sadelik ön planda tutulmuş; ancak kimi zaman evin sosyal statüsüne bağlı olarak dekoratif ögelerle zenginleştirilmiştir. Konut büyüklüğüne ve aile yapısına bağlı olarak birden fazla yatak odası bulunabilir. Bu odalar işlevlerine göre ebeveyn, çocuk veya misafir odası olarak ayrışmaktadır. Tüm bu farklı kullanım tiplerinde ortak nokta, kişisel alan oluşturma ilkesinin mekânsal kurgunun temelini oluşturmasıdır (Küçükerman, 2007).

16. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI NAMAZ ODASI

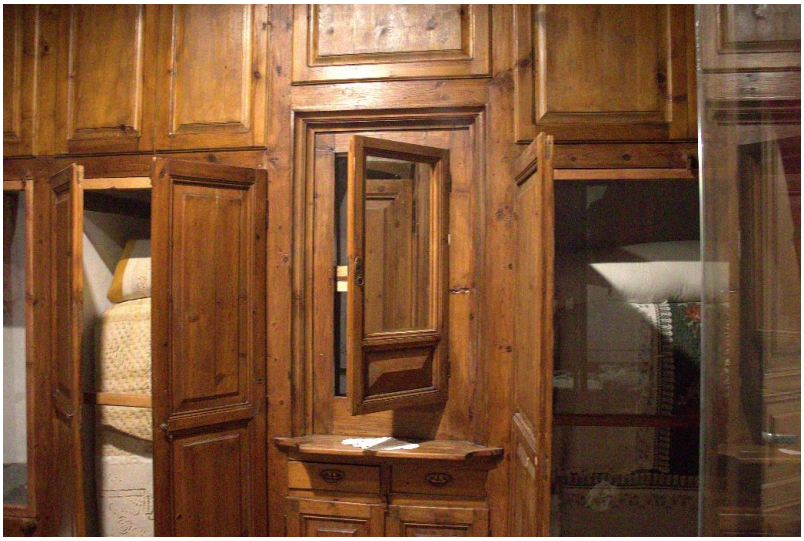
Geleneksel Türk konutlarında namaz odası, bireysel ibadet ve mahremiyet esasına göre kurgulanmış özel bir mekândır. Genellikle konutun sessiz ve izole bir bölümünde yer alır; iç mekânda halı döşeme, küçük pencere açıklıkları ve kişisel eşyalar için niş ya da dolaplar bulunur. Oda, küçük hacimli olup sadece ibadet pratiğini destekleyen unsurlarla donatılmıştır (Albrecht, 2015). Namaz odası, yalnızca dini ritüeller için değil, aynı zamanda içe dönük yaşam biçiminin bir uzantısı olarak da anlam taşır. Bu yönüyle, yapının kültürel işlevselliği içinde önemli bir yer tutar.

17. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI YÜKLÜK

Geleneksel Türk evlerinde yüklükler, odalarda eşya saklama işlevi gören gömme dolaplardır. Ahşap malzeme ile duvar içine yerleştirilen bu yapılar, yatak, yorgan ve günlük kullanım eşyalarının düzenli biçimde korunmasını sağlar. Yüklüklerin bazı örneklerinde ibrik veya su testisi için ayrılmış özel bölmeler yer almakta; bu sayede hem işlevsellik hem de kullanım kolaylığı sağlanmaktadır (Ataman ve Konakoğlu, 2022: 163–178).

Mobilya kültürünün sınırlı olduğu Osmanlı konutlarında sabit elemanlar olan yüklükler, sedir ve nişlerle birlikte iç mekân düzeninin ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. Bu sabit elemanlar, fonksiyonelliğin yanında estetik zenginlik de katmıştır (Yürekli, 2005; Eldem, 1984).

Aşağıdaki görselde Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı'nda yer alan ve günümüzde müze işlevi gören yapının yüklük düzenlemesi görülmektedir. Kapaklı, çok gözlü ahşap yüklükler, yatak takımları gibi hacimli eşyaları saklamaya yönelik klasik bir kullanım mantığı ile yerleştirilmiş olup hem odanın işlevselliğini artırmakta hem de mimari bütünlük sağlamaktadır.



Görsel 16. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Yüklük (Yalçın, 2025)

18. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI GUSÜLHANE

Geleneksel Osmanlı konutlarında gusülhane hem mahremiyet hem de temizlik ihtiyacını karşılamak üzere konut içinde özel olarak ayrılmış küçük hacimli bir mekândır. Genellikle yüklük veya dolap gibi gömme elemanların hemen arkasında ya da bir duvar bölmesi içerisinde yer alan gusülhaneler, dışarıdan doğrudan algılanmayacak şekilde gizlenmiş, bu sayede hem görsel hem de işitsel mahremiyet korunmuştur. İç kısımlarında çoğunlukla taş veya seramik malzeme tercih edilmiş; su testisi yerleştirilebilecek nişler, zeminde ise suyun tahliyesini sağlayacak eğimli yüzeyler tasarlanmıştır. Bu tür mekânlar, dönemin hijyen anlayışına ve İslami temizlik ilkelerine uygun bir biçimde planlanmış olup, konutun diğer yaşam alanlarıyla doğrudan temas etmeyecek şekilde konumlandırılmıştır. Aşağıdaki görselde, tipik bir yüklük arkasına yerleştirilmiş gusülhane düzenlemesi görülmektedir. Bu tür yerleşimler hem mimari sadeliği hem de işlevselliği bir araya getiren geleneksel iç mekân çözümlerinin başarılı örneklerindendir (Tokol, 2014).



Görsel 17. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Gusülhane (Yalçın, 2025)

Yukarıdaki görselde yer alan gusülhane bölümü, geleneksel Osmanlı konut mimarisinde özel temizlik ihtiyacına yanıt veren küçük ölçekli banyo alanlarından biridir. Konut içinde mahremiyetin korunmasına özen gösterilerek konumlandırılan bu bölüm, kısmen gömme bir niş içerisinde çözümlenmiş olup, iç mekânda kullanılan ahşap doğrama ile çevrelenmiştir. Ayrıca gusülhane zemini, genellikle taş ya da suya dayanıklı sıvalı yüzeyle kaplanmış olup, suyun tahliyesini kolaylaştıracak eğim sistemine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bu örnek, konut içerisindeki temizlik işlevinin mekânsal karşılığını ve dönemin gündelik yaşam alışkanlıklarını yansıtması açısından önem taşımaktadır.

19. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI MUTFAK

Mutfak, ocak, fırın gibi pişirme ünitelerini içermekte; yanındaki abdesthane ve helanın, hijyen ve mahremiyet gereksinimlerine göre planlanmış olması, Osmanlı konut mimarisindeki işlevsel çok amaçlı mekân yaklaşımını doğrulamaktadır. Strüktürel olarak ahşap iskelet sistemin suya doğrudan temastan etkilenebilecek bu hacimlere dâhil edilmesi, dönemin yapı tekniğinin esnekliğini ve suya dirençli malzeme seçiminin yerel ölçekteki hassasiyetini göstermektedir (Karakoyun Yaşar & Parlak Biçer, 2024).



Görsel 18. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Mutfak (Yalçın, 2025)

Yukarıdaki görselde yer alan mekân, geleneksel Osmanlı konutlarında mutfak olarak kullanılan iç hacmi yansıtmaktadır. Mekânın duvar kenarlarında dizili bakır kaplar ve tencereler, dönemin yemek pişirme ve saklama kapları hakkında bilgi verirken, duvara sabit raf sistemleri bu eşyaların düzenli bir biçimde depolanmasına olanak tanımaktadır. Zeminde kullanılan kilim, mekânın gündelik yaşamla bütünleşmiş kullanımını gösterirken, büyük küpler ve ahşap tekneler gıda saklama ve hazırlık süreçlerine işaret etmektedir. Bu tür mutfaklar, Osmanlı konut yapısında genellikle zemin katta yer almakta ve evin diğer yaşam alanlarından belirli bir düzeyde ayrıştırılarak, hijyen ve güvenlik açısından kontrol altında tutulmaktadır. Konakta birinci ve ikinci katta birer adet olmak üzere iki adet mutfak yer almaktadır. Ayrıca normalde konakta yer alan kiler yapısı günümüzde müze olarak kullanılırken ana mutfak olarak düzenlenmiştir.

20. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI ABDESTHANE VE HELA

Abdesthane, geleneksel Osmanlı-Türk konut mimarisinde hem temizlik hem de ibadet öncesi hazırlık amacıyla kullanılan işlevsel bir mekândır. Bu tür mekânlar, genellikle konutun iç avluya bakan sakin ve mahrem bölgelerinde konumlandırılmıştır. Temizlik kültürünün bir parçası olarak tasarlanan abdesthaneler, dini gerekliliklerin yerine getirilebilmesine olanak tanıyan yapılar olup; suya kolay erişimi sağlayacak musluklar, taş lavabolar ve kişisel kullanım eşyalarıyla donatılmıştır (Göktaş Kaya & İribaş, 2020).

Yapının servis mekânları arasında yer alan abdesthane ve hela bölümleri, dönemin temizlik ve mahremiyet anlayışı doğrultusunda düzenlenmiştir. Helanın, taş döşemeli zemini üzerinde yer alan alaturka tip tuvalet çukuru ile işlevini koruduğu, üzerinde ise gün ışığı alabilmesi amacıyla konumlandırılmış küçük bir pencerenin yer aldığı görülmektedir.



Görsel 19. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Abdesthane ve Hela (Yalçın, 2025)

Abdesthane bölümünde ise duvar boyunca uzanan taş lavabo platformu ve üzerine yerleştirilmiş bakır ibrik, tas ve havluluk düzeni dikkat çekmektedir. Bu alan, kullanıcıya hem bireysel temizlik hem de namaz öncesi abdest alma ihtiyacını karşılayacak şekilde planlanmış, içe kapanık bir mimari anlayışla tasarlanmıştır. Mekânda kullanılan ahşap kapılar ve pencere açıklıkları hem mahremiyetin korunmasını sağlamakta hem de geleneksel Osmanlı konut mimarisinde sıklıkla karşılaşılan malzeme seçimleriyle bütünlük oluşturmaktadır. Bu özellikler, yapıdaki özgün plan kurgusunun ve gündelik yaşam alışkanlıklarının izlerini günümüze taşımaktadır. Konakta birinci ve ikinci katta birer adet olmak üzere iki tane yer almaktadır.

21. NURETTİN KARAOĞUZ KONAĞI AMBAR

Kırsal yerleşim birimlerinde üretime dayalı yaşam biçimi, özellikle mevsimlik tarımsal faaliyetlerin sonucu olarak elde edilen ürünlerin uzun süreli korunmasını gerektirmiştir. Bu gereksinim doğrultusunda konut birimlerinin yakınında ya da aynı yapı grubu içerisinde konumlandırılan ambar yapıları, gıda maddelerinin; haşere, kemirgen, nem ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmeden muhafazasını sağlayacak şekilde planlanmıştır. Özellikle zeminle doğrudan temasın kesilmesi amacıyla yükseltilmiş temel üzerine yerleştirilen ve doğal hava

dolaşımına olanak tanıyan boşluklu strüktür sistemiyle inşa edilen bu yapılar, hem ürünlerin bozulmadan saklanmasına olanak tanımakta hem de yapının bütününde üretim odaklı kurgunun bir parçasını oluşturmaktadır. Ahşap malzeme kullanımının yaygın olduğu bu yapılar hem taşıyıcı sistem hem de cephe elemanları açısından yalın bir karakter gösterirken, işlevsellik ön planda tutulmuştur. Bu yönüyle ambar, geleneksel kırsal mimaride sadece bir depolama alanı değil, üretim-tüketim sürekliliğinin sürdürülebilirliğini sağlayan temel bir mekânsal bileşen olarak değerlendirilmelidir (Balkoca, Sağiroğlu Demirci & Güngör, 2023).



Görsel 20. Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı Ambar Yapıları (Yalçın, 2025)

İlk görselde avlu dışında konumlanan, taş bir zemin üzerine inşa edilmiş, tümüyle ahşap malzemeden yapılmış, geleneksel formda bir tahıl ambarı görülmektedir. Ambar, zeminle teması kesilmiş şekilde taş kaide üzerine oturtulmuş ve yüksekte tutulmuştur. Bu yapı biçimi, rutubet ve haşerelere karşı koruma sağlamak amacıyla tercih edilmiştir. Merdivenle ulaşılan tek giriş açıklığı, kullanımda kontrollü erişimi sağlarken, binanın saçaklarının geniş tutulması ise hem yapıyı yağıştan koruma hem de iç sıcaklık dengesini muhafaza etme işlevi görmektedir. İkinci görselde ise yapının giriş katında konumlanan ikinci bir ambar yer almakta olup, iç mekâna entegre edilmiştir. Taş duvar örgüsüne sahip bu birim, kapalı alan depolaması için tasarlanmıştır. Mekân içerisinde yer alan büyük kazanlar, ahşap küpler ve çeşitli depolama kapları, bu bölümün üretim ya da muhafaza amacıyla aktif olarak kullanıldığını göstermektedir. Ayrıca iç mekânda taş döşeme tercih edilmiş olup, bu uygulama rutubeti dengelemek ve temizlik kolaylığı sağlamak amacı taşımaktadır.

23. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, Beypazarı'nda yer alan ve Osmanlı döneminde konak olarak inşa edilen Nurettin Karaoğuz Konağı'nın, günümüzde müze olarak yeniden işlevlendirilmiş mimari yapısını, geleneksel Osmanlı konut mimarisi bağlamında çok boyutlu bir şekilde analiz etmeyi amaçlamıştır. Konak, hem taşıdığı tipolojik ve estetik özelliklerle hem de dönemin sosyal yapısını yansıtan mekânsal kurgusuyla, 19. yüzyıl Osmanlı konut mimarisinin temsili örneklerinden biri olma niteliğini taşımaktadır.

Nurettin Karaoğuz Konağı'nın inşa edildikten bir süre sonra yangın geçirdiği ve bu yangın sonrasında yapının Safranbolu'dan getirilen geleneksel konut ustaları tarafından yeniden inşa edildiği bilgisine ulaşılmıştır. Konağın taşıyıcı ahşap sistemine ilişkin yapılan yerinde incelemelerde, strüktürel unsurların büyük ölçüde özgünlüğünü koruduğu, yalnızca bakım ve koruma amacıyla müdahalede bulunulduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, yapı avlusunda yer alan zemin taşlarının, yapının müze işlevi kazandığı restorasyon sürecinde eklendiği anlaşılmaktadır. Bu bilgiler, 3 Temmuz Perşembe günü Beypazarı Belediyesi personeli ve müze görevlisi Sayın Veysel Çanak ile yapılan görüşmeler doğrultusunda elde edilmiştir.

İnceleme sürecinde yapının başlıca kullanım alanları olan baş oda, gelin odası, yatak ve namaz odası gibi iç mekânlar ile sofa, gusülhane, yüklük gibi işlevsel ögeler detaylı biçimde ele alınmıştır. Ayrıca, cihannüma, cumba, pencere düzeni, kapı mimarisi, çatı örtüsü, tavan işçiliği ve avlu gibi yapı elemanlarının tasarımı ve kullanımı üzerinden konutun fiziksel organizasyonu değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, yalnızca mimari özelliklerin değil, aynı zamanda Osmanlı toplumunda mahremiyet, misafirlik, aile düzeni ve mekân kullanımı gibi kültürel normların da nasıl somutlaştığını ortaya koymaktadır.

Konağın plan düzeni ve mekânlar arası ilişkiselliği, kullanıcının gündelik yaşam ihtiyaçlarına duyarlı olarak kurgulanmış ve sosyal rollerle birlikte şekillenmiştir. Özellikle harem-selamlık ayrımı, orta sofa çevresinde toplanan çok işlevli odalar ve yapının içe dönük yerleşim anlayışı, Osmanlı konut sistematiğinin temel ilkeleriyle birebir örtüşmektedir. Dönemin yaşam tarzına uygun olarak konutun birçok biriminde çok işlev esası benimsenmiş; her mekân hem barınma hem depolama hem de sosyal etkileşim fonksiyonlarını karşılayacak şekilde tasarlanmıştır.

Yapının günümüzde müze olarak korunuyor olması, geçmişten günümüze kültürel sürekliliğin ve mimari mirasın nasıl yaşatılabileceğine dair önemli bir örnek teşkil etmektedir. Osmanlı dönemi konut mimarisinin özgün örneklerinden biri olan Beypazarı Nurettin Karaoğuz Konağı hem yapısal hem de kültürel bağlamda incelendiğinde, geleneksel Türk evinin tipolojik özelliklerini eksiksiz biçimde barındıran, temsil gücü yüksek bir örnek olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada söz konusu yapı, tarihî süreklilik içerisinde geçirdiği dönüşümler ve günümüzde müze olarak üstlendiği işlev ile değerlendirilmiştir. İncelemeler, yalnızca yapının fiziksel-mekânsal organizasyonuna odaklanmakla kalmayıp, aynı zamanda Osmanlı toplumunun sosyal yaşam dinamiklerini, aile yapısını ve mahremiyet anlayışını da mekânsal temsilleri üzerinden tartışmaya açmıştır.

Konakta yer alan başoda, gelin odası, yatak ve namaz odası gibi birimler, işlevsel ve sembolik anlamlar bakımından detaylı şekilde analiz edilmiştir. Bu mekânlar, geleneksel Osmanlı evinde kadim bir anlayışla biçimlenen yaşama kültürünün yansımalarını taşıyan özel birer alan olarak değerlendirilmiştir. Başoda gibi misafir kabul mekânlarında işlevsellikle temsil arasında güçlü bir bağ kurulduğu, gelin odasında ise yeni kurulan aile birimine yönelik mahremiyet ve bağımsızlık ilkelerinin öne çıktığı gözlemlenmiştir. Benzer biçimde, namaz odası gibi özel ibadet alanları, dini pratiklerin gündelik yaşamla nasıl bütünleştiğine dair ipuçları sunmuştur.

Konutun plan düzeni, içe dönük yerleşimi ve avlu çevresine kurgulanmış birimlerinin dağılımı, Osmanlı konut sisteminde öne çıkan "mahremiyet", "işlevsellik" ve "doğaya uyum" ilkeleriyle doğrudan ilişkilidir. Avlu, sosyal hayatın açık alandaki devamlılığı açısından merkezi bir rol

üstlenirken, orta sofa yapının iç sirkülasyonunun odak noktasını oluşturmuştur. Sofa, yalnızca odalar arası geçişi sağlayan bir boşluk değil; aynı zamanda sosyal birlikteliği, gündelik yaşamın ortak paydasını temsil eden önemli bir mekândır. Bu bağlamda, mimari strüktür, sadece teknik bir organizasyon değil, aynı zamanda kültürel kodların somutlaştığı bir ifade biçimi olarak okunmuştur.

Yapının cihannüma, cumba ve pencere düzeni gibi cephe elemanları hem iklimsel koşullara cevap veren hem de yapıya estetik değer katan mimari ögeler olarak değerlendirilmiştir. Ahşap işçiliğinin zengin detaylarla kendini gösterdiği tavanlar, kapılar, yüklükler ve sedirler, el zanaatlarının mimari ile nasıl iç içe geçtiğini belgeleyen nitelikte unsurlar olarak ön plana çıkmıştır. Özellikle gusülhane gibi mekânlar ise, konutlarda mahremiyetin yanı sıra temizlik ve dini pratiklerin bütünleştiği yapısal bileşenler olarak değerlendirilmiş; Türk evinin yalın fakat çok işlevli yapısının altı çizilmiştir.

19. yüzyıldan günümüze uzanan süreçte geçirdiği işlevsel değişime rağmen, konağın özgün mimari kurgusunu büyük ölçüde muhafaza etmiş olması, kültürel mirasın korunması açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Bugün müze olarak kullanılan yapı hem mimari kimliğiyle hem de barındırdığı etnografik unsurlarla, geleneksel yaşamın mekân üzerinden aktarılmasına hizmet etmektedir. Bu yönüyle yapı, yalnızca bir tarihî konak değil; aynı zamanda toplumsal belleğin yaşatıldığı bir hafıza mekânıdır.

Sonuç olarak, bu değerlendirme göstermektedir ki Nurettin Karaoğuz Konağı'nın mimari özellikleri yalnızca estetik değil; aynı zamanda işlevsel, sosyal ve kültürel bağlamlarla örülmüş çok katmanlı bir yapının ürünüdür. Osmanlı konut mimarisi mekânsal organizasyonunun toplumsal yapıyla birlikte ele alınması, mimarlık tarihinin yalnızca yapı teknikleriyle değil, kültürel pratiklerle de şekillendiğini ortaya koymak açısından büyük önem arz etmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, geleneksel Osmanlı konut mimarisinin mekânsal, işlevsel ve kültürel katmanlarını ortaya koyarak hem yerel mimari mirasın belgelenmesine hem de mimarlık tarihi literatürüne katkı sağlamayı hedeflemiştir. Yapının mimari bileşenleri üzerinden ulaşılan bulgular, geçmişin barınma kültürünün ve mekân kullanım biçimlerinin bugüne taşınmasına yönelik önemli bir kaynak niteliğindedir.

KAYNAKÇA

1. Abi, M. Ü. (2020). *Detaylarda Afyonkarahisar* (Cilt 2). Afyonkarahisar Belediyesi Kültür Yayınları.
2. Akın, N. (1995). *Ev*. Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi (Cilt 11, s. 510). İstanbul.
3. Albrecht, P. (2023). *Phenomenon of worship: Seven principles of designing prayer room at home*. *EMARA Indonesian Journal of Architecture*, 8(1), 22–36.
4. Altıner, A. T., & Budak, C. (1999). *Konak Kitabı* (2. Baskı, ss. 24–40). Tepe Yayınları, İstanbul.
5. Arel, A. (1999). Anadolu'da geleneksel konut kültürel etmenler. *Dördüncü Türk Kültürü Kongresi*, 1, 37–40. Ankara.
6. Arseven, C. E. (1983). *Cihannüma*. *Sanat Ansiklopedisi* (Cilt 1, s. 22). Ban Matbaacılık, Ankara.
7. Ataman, M., & Konakoğlu, Z. N. (2022). Geleneksel evlerde sabit donatılar: Mehmet Şehirli Evi. *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 7(1), 163–178.
8. Balkoca, Ö., Sağiroğlu Demirci, Ö., & Güngör, C. (2023). Kırsal üretimde yardımcı mekânlar: Tahıl ambarları. *Online Journal of Art and Design*, 11(1), 264–279.
9. Bektaş, C. (2013). *Türk Evi*. YEM Yayınları, İstanbul.
10. Bozkurt, S. G. (2013). 19. yy'da Osmanlı konut mimarisinde iç mekân kurgusunun Safranbolu evleri örneğinde irdelenmesi. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*, 62(2), 37–70.
11. Bozkurt, S. G., & Altınçekiç, H. (2013). Anadolu'da geleneksel konut ve avluların özellikleri ile tarihsel gelişiminin Safranbolu evleri örneğinde irdelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 63(1), 69–91.
12. Cansever, T. (2013). *İslamda Şehir ve Mimari* (8. Baskı). Timaş Yayınları.
13. Deveci, A. (2017). Türkmen kültüründe çadır. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 10(54), 434–452.
14. Eldem, S. H. (1954). *Türk Evi Plan Tipleri*. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
15. Eldem, S. H. (1968). *Köşkler ve Kasırlar*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

16. Eldem, S. H. (1984). *Türk Evi I* (1. Baskı). Taç Vakfı Yayınları, İstanbul.
17. Erdoğan, N., & Yüksek, İ. (2013). Kırklareli geleneksel konut penceresi ebatlarının standartlaşma potansiyeli. *Iconarp International Journal of Architecture and Planning*, 1(1), 93–103.
18. Google Earth. (2024). *Beypazarı, Ankara* [Uydu görüntüsü]. https://earth.google.com/web/search/Beypazarı,+Ankara/@40.16981251,31.91616758,710.66298614a,94.64978307d,35.00001726y,-30.32352278h,6.09026247t,360r/data=CiwiJgokCSqZATZNF0RAEQdEUadpFERAGc24T3nE6j9AIQs4GWxv6D9AQgIIAToDCgEwQgIIAEoNCP_____wEQAA (Erişim tarihi: 1 Şubat 2025).
19. Göktaş Kaya, L., & İribaş, F. (2020). Bartın geleneksel evleri, cephe düzenlemesi ve ahşap işçiliği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (49), 1–26.
20. Günay, R. (1998). *Türk Ev Geleneği ve Safranbolu Evleri*. Güzel Sanatlar Matbaası, İstanbul.
21. Hacıbaloğlu, M. (1989). *Geleneksel Türk Evi ve Çağımıza Ulaşamamasının Nedenleri*. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara.
22. Halaç, H. H., & Sağlam Doruk, B. (2019). Anadolu konutunda başoda ve gelin odası karşılaştırması. *Route Educational and Social Science Journal*, 6(9), 312–326.
23. Hersek, C. M. (Ed.). (2000). *Safranbolu Yörük Köyü: Geleneksel Yaşam Biçimi ve Evleri*. Eylül.
24. Kalenderoğlu, S. (2006). *Ankara Etnografya Müzesi'nde Bulunan 13. yy. Selçuklu Dönemi Ahşap Kapı Süslemeleri* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
25. Karakoyun Yaşar, E., & Parlak Biçer, Z. Ö. (2024). Osmanlı'nın son dönemi Ardahan'da inşa edilen camilerde ekolojik mimari tasarım ölçütlerinin değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 40(2).
26. Kuban, D. (1970). Türkiye'de malzeme koşullarına bağlı geleneksel konut mimarisi üzerine bazı gözlemler. *Mimarlık, Şehircilik ve Türkiye'nin Sorunları*, s. 67. İstanbul.
27. Kuban, D. (1995). *The Turkish Hayat House*. Eren Yayıncılık, İstanbul.

28. Kuban, D. (2017). *Türk Ahşap Konut Mimarisi*. Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, Ayhan Matbaası.
29. Kunduracı, O. (2016). Geleneksel Türk evinde ortak yaşama alanı: Sofa. *VI. Uluslararası Türk Sanatı, Tarihi ve Folkloru Kongresi / Sanat Etkinlikleri*. Konya.
30. Küçükerman, Ö. (1973). *Anadolu'daki Geleneksel Türk Evinde Mekân Organizasyonu Açısından Odalar* (2. Baskı). Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu, İstanbul.
31. Küçükerman, Ö. (2007). *Kendi Mekânının Arayışı İçinde Türk Evi* (5. Baskı). Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu, İstanbul.
32. Küçükerman, Ö., & Güner, Ş. (1995). *Anadolu Mirasında Türk Evleri*. Kültür Bakanlığı Yayınları, İstanbul.
33. Meraki, F. (2001). *Safranbolu, Yörük Köyü Geleneksel Konut Dokusunun Korunması ve Sağlıklaştırmasına Yönelik Bir Öneri* (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
34. Pfeifer, G., & Brauneck, P. (2008). *Courtyard Houses: A Housing Typology*. De Gruyter.
35. Şenyurt, O. (2016). İnşa kuralları, mimari algı ve mekân kullanımı bağlamında Osmanlı toplumunda "cumba"/"şahnişin". *Mimarlık ve Yaşam*, 1(1), 87–103.
36. Şeran, M. (2014). *Tarihi mekânların korunmasına eleştirel bir yaklaşım: Hamamönü–Kamil Paşa Konağı ve çevresi* (Yüksek Lisans Tezi). Atılım Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Anabilim Dalı, Ankara.
37. Tokol, T. (2014). Geleneksel Türk evinde yalınlık: Safranbolu Kaymakamlar Evi örneğinde iç mekan donatıları. *Sanat - Tasarım Dergisi*, (5), 15–24.
38. Tomsu, L. (1950). *Bursa Evleri*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
39. Turkan, Z., & Koşanlar, E. (2022). Geleneksel Türk yaşam kültüründe önemli bir mekân: Osmanlı dönemi Lefkoşa Türk evlerinde "başoda". *Art-Sanat*, 17, 497–527.
40. Uluengin, N. Y. (1998). *Osmanlı Türk Sivil Mimarisinde Pencere Aralıklarının Gelişimi* (1. Baskı). Yem Yayıncılık, İstanbul.
41. Usman, M. (1958). *Antik Devir Küçük Asya Evleri*. Güven Basımevi, İstanbul.
42. Uşma, G. (2021). Anadolu'daki geleneksel Türk evlerinin plan, cephe ve süsleme özellikleri bağlamında incelenmesi. *Arts: Artuklu Sanat ve Beşerî Bilimler Dergisi*, 6, 227–259.

43. Yağcı, F. (2019). Son dönem Osmanlı konutlarında mimari elemanlar. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 1(22), 66–75.
44. Yağcı, S. F. (2016). The roofs of Istanbul's wooden houses with the influence of European styles. *WIT Transactions on The Built Environment*, 159, 197–208.
45. Yalçın, R. (2025). Beypazarı Arşiv Fotoğrafları [Kişisel arşiv görselleri]
46. Yürekli, H. (2005). *Türk Evi: Gözlemler ve Yorumlar*. Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul.

Çeşitli vernikler ile verniklenmiş Amerikan kara kiraz (*Prunus serotina* Ehrh.) ahşabında renk parametrelerinin tespit edilmesi

Prof. Dr. Hüseyin PEKER[1], Doç. Dr. Göksel ULAY[2] ve Doç. Dr. Ümit AYATA[3]

[1]Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye
peker100@artvin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7771-6993
[2]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye
g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816,
[3*]Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye
Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Bu çalışmada, Amerikan kara kirazı (*Prunus serotina* Ehrh.) odunu üzerine uygulanan farklı vernik türlerinin renk özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada taş verniği, yat verniği ve örtücü şeffaf vernik olmak üzere üç farklı vernik türü uygulanmış; işlem sonrası örneklerde CIELab* renk uzayına ait *L**, *a**, *b** renk parametreleri ile türetilmiş *C** (kromatiklik) ve h^o (renk tonu açısı) değerleri ölçülmüştür. Elde edilen bulgulara göre, tüm vernik uygulamaları ahşabın *L** ve h^o değerlerinde azalmaya neden olmuş; buna karşılık *a**, *b** ve *C** parametrelerinde artış gözlemlenmiştir. Δ*E** değerleri taş verniği uygulaması ile 13.44, yat verniği uygulaması ile 10.29 ve örtücü şeffaf verniği uygulaması ile 13.90 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, vernik türlerinin ahşabın renk görünümünü belirgin şekilde etkilediğini ve özellikle estetik beklentilere yönelik uygulamalarda uygun vernik seçiminin büyük önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Amerikan kara kirazı, vernik türleri, renk değişimi, CIELab, ahşap yüzey işleme

Determination of Color Parameters in American Black Cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) Wood Coated with Various Varnishes

Abstract

In this study, the effects of different types of varnish on the color properties of American black cherry (*Prunus serotina* Ehrh.) wood were investigated. Three types of varnishes—stone varnish, yacht varnish, and transparent topcoat varnish were applied to the wood specimens. After application, the *L**, *a**, and *b** color parameters in the CIELab* color space and the derived *C** (chroma) and h^o (hue angle) values were measured. According to the results, all varnish treatments caused a decrease in the *L** and ho values, indicating a darker and shifted color tone. In contrast, increases were observed in the *a**, *b**, and *C** parameters. The Δ*E** values were found to be 13.44 for the stone varnish application, 10.29 for the yacht varnish application, and 13.90 for the transparent coating varnish application. These findings demonstrate that varnish type has a significant effect on the color appearance of wood, and that selecting an appropriate varnish is crucial, especially in applications where aesthetics are prioritized.

Keywords: American black cherry, varnish types, color change, CIELab, wood surface finishing

1. Giriş

Ağaç, insanlık tarihinin başlangıcından beri bir inşaat malzemesi olarak kullanılmıştır. Ahşabın esnekliği, yapıların titreşimler ve depremler karşısında uygun bir şekilde tepki vermesini sağlamaktadır. Ahşap ayrıca, mobilya endüstrisinde de yaygın olarak kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, insanlara önemli ve faydalı olan birçok nesnenin imalatında da yer almaktadır: mutfak gereçleri, bahçe aletleri, ahşap ambalajlar ve kutular, içki olgunlaştırmak için variller vb. hayatımıza heyecan ve güzellik katan birçok sanat nesnesi ve müzik aleti de ahşaptan yapılmaktadır. Ahşabı korumak ve güzelleştirmek için vernikler ve boyalar kullanılmaktadır. Boyalar, ahşap yüzeyleri kaplar ve renklendirirken, vernikler doğal görünümünü koruyan saydam filmler ve kaplamalar oluşturmaktadır. Havanın etkilerine maruz kalan ahşabı korumak için gerekli bir film elde etmenin önemli bir adımı da kuruma sürecidir (Giraud ve ark., 2008; Kadoura ve ark., 2016; Mihăilă ve ark., 2021).
Ahşap, hizmette çeşitli etkenler tarafından zarar görmektedir. Bunlar arasında fiziksel etkenler, erozyon, radyasyon ve sıcaklık değişimleri bulunmaktadır. Su, hem sıvı hem de buhar fazında, bu zararı başlatarak, küf ve mantar gibi biyolojik etkenlerin gelişimi için uygun koşulları oluşturmaktadır. Ahşabın genel bozulma sürecine hava etkisi denmektedir (JUNAC, 1988).
Kaplamalar, ahşap yüzeyine uygulanan ve onu hava etkisi fenomeninden korumak, aynı zamanda güzelleştirmek amacı taşıyan ürünlerdir (Keil, 2012; Taraborelli, 2016).
Kaplama filmlerinin oluşum süreçleri, büyük ölçüde kaplamanın fiziksel durumuna bağlıdır; yani, kaplama çözgen bazlı, su bazlı veya çözücüsüz olup olmadığına. Çözgen bazlı kaplamalar için film oluşum süreci nispeten basittir. Çözgen bazlı kaplamadaki bağlayıcıyı oluşturan polimerler, bir çözücü içinde çözülmektedir. Bu polimerler, ayrık moleküller veya moleküler agregatlar şeklinde var olmaktadırlar (Ekstedt, 2002).
Sentetik boyalar, petrol türevleri ve mineral maddeler içeren bileşenler kullanmaktadır. Ayrıca, akrilik, plastik veya su bazlı terimleriyle de tanımlanabilirler. Aslında, üreticiler genellikle "sentetik" terimini yalnızca organik çözücüler bazlı boyalar, özellikle de esmaltlar ve vernikler için kullanmaktadır. Piyasada bulduğumuz boyaların büyük çoğunluğu sentetiktir (Trischler ve Partner, 2004; Escala Martínez, 2018).
Vernikler ve sızdırmazlıklar gibi kaplamalar, nemin nüfuz etmesini ve biyolojik etkenlere maruz kalmayı sınırlayan bir bariyer oluşturarak önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, uygun ahşap türlerinin seçimi ve düzenli bakım, ahşap yapılarının ömrünü uzatmaya katkı sağlamaktadır (Zacarias ve ark., 2024).
Genel olarak, boya ve vernik yüzeylere dekorasyon veya koruma amaçlı ya da her ikisi için uygulanmaktadır. Boya ile vernik arasındaki temel fark, boyanın sıvı kısmında, yani araçta, önemli ölçüde çözünmeyen bir malzeme olan pigmentin askıda bulunmasıdır. Öte yandan vernik, içindeki reçinelerin veya mumların çoğunlukla çözünmüş halde bulunduğu bir sıvıdan oluşmaktadır. Boyanın sıvı kısmı genellikle iki sınıfa ayrılabilecek bir dizi madde içermektedir (Stratton, 1917).
Renk tanıma, ahşap parçalarının eşleştirilmesi için önemli bir adımdır ve kereste endüstrisinin birçok faaliyetini etkilemektedir. Ahşap parçaların algılanan renklerine göre birleştirilmesi gerekmektedir. Amaç, esas olarak homojen ve masif görünen bir ahşap parçası sağlamaktır. Bu tür sorunlar, ahşap karakterizasyonunun estetik yönüne aittir. Görünüm kontrolü sorunu iki kategoriye

ayrılabilmektedir: tekilliklerin tespiti, lokalizasyonu ve tanımlanması ve renk veya tanenin (ahşabın dokulu görünümü) sınıflandırılması ve tanımlanması (Bombardier ve Schmitt, 2010).
Bu çalışmada, çeşitli vernikler (yat, taş ve şeffaf örtücü) ile verniklenmiş Amerikan kara kiraz (*Prunus serotina* Ehrh.) ahşabında renk parametreleri tespit edilmiştir.

2.1. Materyal

Çalışmada Amerikan kara kirazı (*Prunus serotina* Ehrh.) odunları, 100 mm x 100 mm x 15 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Uygulamalarda üç farklı vernik türü tercih edilmiştir.
İlki, iç ve dış mekân kullanımına uygun olacak şekilde geliştirilmiş, doğal yağ, balmumu ve reçine karışımından oluşan, yarı örtücü özelliğe sahip bir ahşap verniğidir. Bu ürün, şeffaf yapıda olup iki kat halinde uygulanmış ve katlar arası kuruma sürelerine dikkat edilmiştir (ilk kat: 6–8 saat, tam kuruma: 24–48 saat). Uygulama miktarı yaklaşık 16–20 m²/lt, yoğunluğu 0.87 g/cm³'tür.
İkinci vernik ise, yüksek sertlik ve suya dayanıklılık özellikleriyle öne çıkan, solvent bazlı yat verniğidir. Yağlı alkid reçine esaslı olup yaklaşık %60–70 oranında katı madde içermektedir. Bu vernik de iki kat uygulanmış, her katta 14–16 m²/lt sarfiyat gerçekleştirilmiştir. Yoğunluğu 0.87–0.92 g/ml arasında değişmektedir.
Üçüncü olarak kullanılan solvent bazlı vernik, akrilik reçine içeriklidir ve hem mat hem parlak seçenekleri mevcuttur. İki kat uygulama yapılmış, viskozitesi 24 saniye, dokunma kuruluğu yaklaşık 6–8 saat, tam sertleşme süresi ise en az 24 saat olarak belirtilmiştir. Katı madde oranı %27 olup yoğunluğu 0.95 g/cm³'tür. Uygulama miktarı ise 200–250 g/m²'dir.
Uygulama öncesinde tüm örnekler 80, 120 ve 180 numaralı zımpara kâğıtları ile zımparalanmış, ardından yüzeyler kompresörle tozdan arındırılmıştır. Katlar arasında 24 saat bekleme süresi verilmiştir. Tüm vernikler, endüstride yaygın olarak kullanılan fırça yöntemiyle uygulanmıştır.
Renk değişim ölçümleri, ASTM D2244-03 (2007) standardına göre CS-10 cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm parametreleri arasında ΔC^* (renk doygunluğu farkı) ve ΔH^* (ton/gölge farkı) gibi kriterler değerlendirilmiş; diğer renk parametrelerine ilişkin tanımlar Lange (1999) çalışmasından yararlanılarak ele alınmıştır.

Çizelge 1. ΔL^*, Δa^*, Δb^* ve ΔC^* için açıklamalar (Lange, 1999)

Parametre	Pozitif duruma göre inceleme	Negatif duruma göre inceleme
Δb^*	Referansa göre daha sarı	Referansa göre daha mavi
Δa^*	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha yeşil
ΔC^*	Referansa göre daha net, daha parlak	Mat, referansa göre daha bulanık
ΔL^*	Referansa göre daha açık	Referansa göre daha koyu

Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıkları belirlenmiştir.

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$h^o = \arctan(b^*/a^*) \quad (2)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{vernik işlemi görmüş deney örneği}} - C^*_{\text{kontrol}}) \quad (3)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{vernik işlemi görmüş deney örneği}} - a^*_{\text{kontrol}}) \quad (4)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{vernik işlemi görmüş deney örneği}} - L^*_{\text{kontrol}}) \quad (5)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{vernik işlemi görmüş deney örneği}} - b^*_{\text{kontrol}}) \quad (6)$$

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (7)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta a^*)^2]^{0.5} \quad (8)$$

ΔE^* için kriterler (DIN 5033, 1979) Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Δ*E** için kriterler (DIN 5033, 1979)

Toplam renk farkı (Δ*E**)	Renk puanı farkı	Toplam renk farkı (Δ*E**)	Renk puanı farkı
<0.20	Algılanamaz	3.00 ila 6.00	Çok belirgin
0.20 ila 0.50	Çok zayıf	6.00 ila 12.00	Güçlü
0.50 ila 1.50	Zayıf	> 12.00	Çok güçlü
1.50 ila 3.00	Belirgin		

Standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri, ortalamalar, homojenlik grupları, varyans analizleri ve % değişim oranları bir istatistik programı ile hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Varyans analizi sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Bütün renk parametreleri için vernik türü faktörünün anlamlı olarak elde edildiği görülmüştür (Çizelge 3).

Çizelge 3. Varyans analizi sonuçları

Varyans Kaynağı	Test	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	α≤0.05 (*: Anlamlı)
Vernik Türü	Işıklılık (*L**)	844.830	3	281.610	763.263	0.000*
	Kırmızı (*a**) Renk Tonu	355.898	3	118.633	850.395	0.000*
	Sarı (*b**) Renk Tonu	101.327	3	33.776	177.313	0.000*
	Kroma (*C**)	313.883	3	104.628	498.111	0.000*
	Ton (h^o) Açısı	674.100	3	224.700	455.484	0.000*
Hata	Işıklılık (*L**)	13.282	36	0.369		
	Kırmızı (*a**) Renk Tonu	5.022	36	0.140		
	Sarı (*b**) Renk Tonu	6.857	36	0.190		
	Kroma (*C**)	7.562	36	0.210		
	Ton (h^o) Açısı	17.760	36	0.493		
Toplam	Işıklılık (*L**)	91429.498	40			
	Kırmızı (*a**) Renk Tonu	11040.417	40			
	Sarı (*b**) Renk Tonu	20539.036	40			
	Kroma (*C**)	31583.521	40			
	Ton (h^o) Açısı	119435.379	40			
Düzeltilmiş Toplam	Işıklılık (*L**)	858.113	39			
	Kırmızı (*a**) Renk Tonu	360.920	39			
	Sarı (*b**) Renk Tonu	108.184	39			
	Kroma (*C**)	321.444	39			
	Ton (h^o) Açısı	691.860	39			

Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları Çizelge 4'de ve bu sonuçlara ait grafiksel sonuçlar ise Şekil 1'de sunulmuştur.

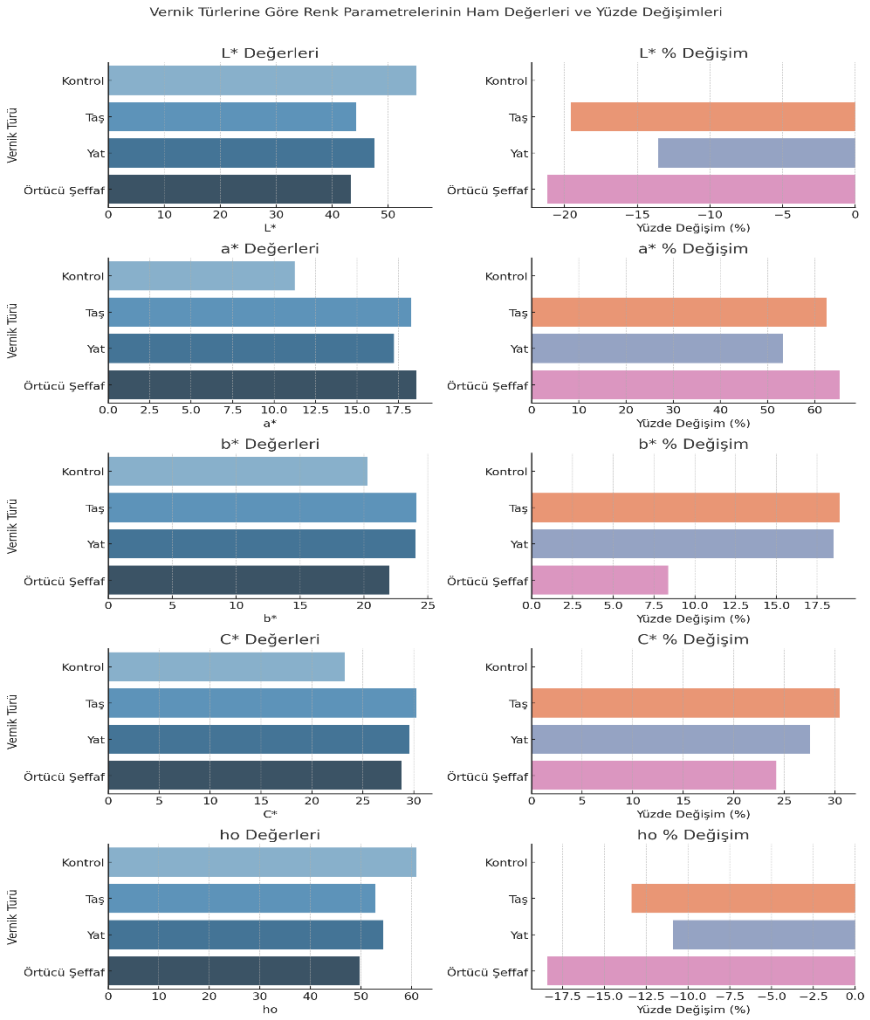
Çizelge 4. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçları

Test	Vernik Türü	Orta-lama	Değişim (%)	Homojenlik Grubu	Standart Sapma	Mini-mum	Maksi-mum	Varyasyon Katsayısı
*L**	Kontrol	55.07	-	A*	0.67	54.37	56.53	1.22
	Taş	44.28	↓19.59	C	0.82	43.17	45.32	1.85
	Yat	47.60	↓13.56	B	0.51	46.46	48.36	1.07
	Örtücü Şeffaf	43.39	↓21.21	D**	0.31	42.86	43.81	0.72
*a**	Kontrol	11.25	-	B	0.39	10.75	11.85	3.45
	Taş	18.28	↑62.49	A	0.34	17.81	18.78	1.85
	Yat	17.24	↑53.24	C**	0.41	16.60	18.00	2.37
	Örtücü Şeffaf	18.60	↑65.33	A*	0.36	18.10	19.15	1.91

b*	**Kontrol**	20.28	-	C**	0.26	19.77	20.63	1.27
	Taş	24.11	↑18.89	A*	0.44	23.31	24.59	1.81
	Yat	24.03	↑18.49	A	0.63	23.11	25.24	2.64
	Örtücü Şeffaf	21.98	↑8.38	B	0.32	21.46	22.33	1.46
C*	**Kontrol**	23.19	-	D**	0.38	22.51	23.62	1.63
	Taş	30.26	↑30.49	A*	0.46	29.61	30.88	1.52
	Yat	29.58	↑27.55	B	0.67	28.45	31.00	2.26
	Örtücü Şeffaf	28.80	↑24.19	C	0.20	28.61	29.32	0.69
***h*°**	**Kontrol**	61.00	-	A*	0.65	59.89	61.59	1.07
	Taş	52.84	↓13.38	C	0.57	51.93	53.64	1.09
	Yat	54.35	↓10.90	B	0.68	53.32	55.53	1.25
	Örtücü Şeffaf	49.76	↓18.43	D**	0.87	48.26	50.97	1.75
Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik Grubu Sütunu İçin *: En Yüksek Değer, **: En Düşük Değer								

Bütün vernik uygulamaları ile *L** (yüzde değişim oranlarına göre: örtücü şeffaf vernik > taş verniği > yat verniği) ve *h*° (örtücü şeffaf vernik > taş verniği > yat verniği) değerlerinde azalmalar bulunurken, *a** (örtücü şeffaf vernik > taş verniği > yat verniği), *C** (taş verniği > yat verniği > örtücü şeffaf vernik) ve *b** (taş verniği > yat verniği > örtücü şeffaf vernik) değerlerinde ise artışlar tespit edilmiştir. *L** ve *h*° değerlerinde en yüksek sonuçlar kontrol örneklerine ait ölçümlerinde (sırası ile 55.07 ve 61.00) bulunmuştur. Ayrıca, *a**, *C** ve *b** değerlerinde ise en düşük sonuçlar yine kontrol örneklerine ait ölçümlerinde elde edilmiştir (sırası ile 11.25, 23.19 ve 20.28). *L** ve *h*° parametrelerinde en düşük sonuçlar örtücü şeffaf vernik ile verniklenmiş örneklerde (sırası ile 43.39 ve 49.76) bulunmuştur. *C** ve *b** değerlerinde en yüksek sonuçlar taş vernik ile verniklenmiş örneklerde (sırası ile 30.26 ve 24.11) elde edilmiştir. *a** değerinde ise en yüksek sonuçlar örtücü şeffaf vernik ile verniklenmiş örneklerde (18.60) görülmüştür (Çizelge 4).

Literatürde farklı vernik türlerinin çeşitli ahşap malzeme yüzeylerine uygulanması sonrasında renk parametrelerinde değişikliklerin tespit edildikleri bildirilmiştir (Ayata ve ark., 20224a;b; Ayata ve Bal, 2024a;b; Çamlıbel ve Ayata, 2024; Peker ve Ayata, 2024; Peker ve ark., 2024; Ulay ve Ayata, 2024a;b).



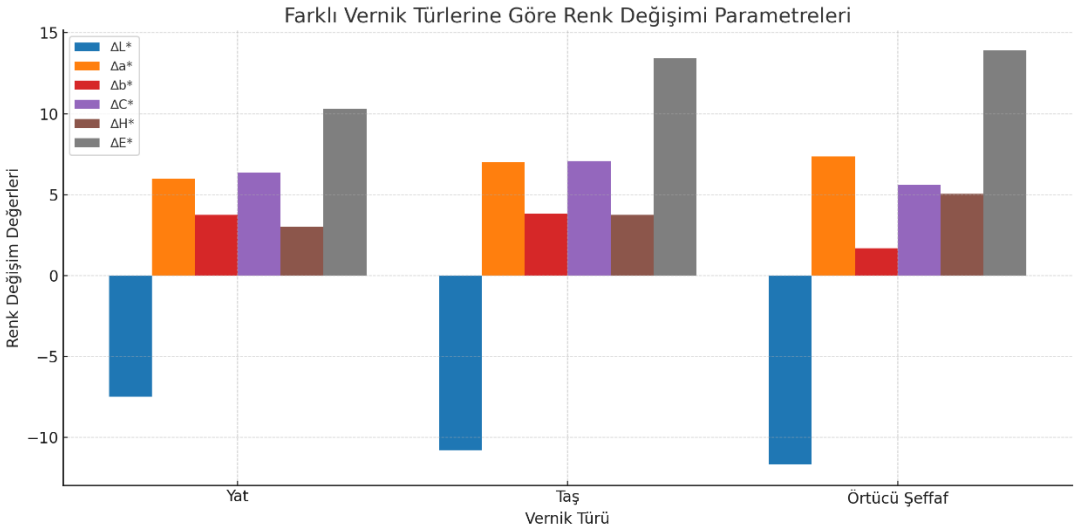
Şekil 1. Renk parametrelerine ait ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Çizelge 5'de ve bu sonuçlara ait grafiksel sunum Şekil 2'de verilmiştir. Δ*E** değerleri taş verniği uygulaması ile 13.44, yat verniği uygulaması ile 10.29 ve örtücü şeffaf verniği uygulaması ile 13.90 olarak bulunmuştur. Δ*H** değerleri ise taş verniği uygulaması ile 3.76, yat verniği uygulaması ile 3.03 ve örtücü şeffaf verniği uygulaması ile 5.04 olarak belirlenmiştir. Δ*a**, Δ*b** ve Δ*C** değerleri bütün vernik uygulamaları ile pozitif bulunurken, Δ*L** ise negatif olarak tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Bu duruma ait sonuçlar Çizelge 1'de verilen değerler ile kıyaslandıklarında referans olan kontrol örneği ile verniğin etkileşime girdiği sonucunu verdiği söylene bilinir. Ayrıca Δ*E** değerleri kullanılarak renk değiştirme kriterleri açısından değerler incelendiğinde, örtücü şeffaf verniğinin ve taş verniğinin "çok güçlü (> 12.00)" kriterini, yat verniğinin ise "güçlü (6.00 ila 12.00)" kriterini verdiği Çizelge 2'de gösterilen değerler ile kıyaslandığında görülmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar

Vernik Türü	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔC^*	ΔH^*	ΔE^*	Renk Kriteri (DIN 5033, 1979)
Yat	-7.47	5.99	3.76	6.39	3.03	10.29	Güçlü (6.00 ila 12.00)
Taş	-10.79	7.03	3.84	7.07	3.76	13.44	Çok güçlü (> 12.00)
Örtücü Şeffaf	-11.67	7.35	1.70	5.61	5.04	13.90	



Şekil 2. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçların grafiksel gösterimi

4. Sonuçlar ve Öneriler

Amerikan kara kirazı odununa uygulanan farklı vernik türleri, odunun renk görünümünde belirgin değişimlere yol açmıştır. Uygulanan her üç vernik türü de ahşabın parlaklığını ve açıklığını ifade eden L^* değerini düşürerek yüzeyin daha koyu görünmesine neden olmuştur. Bununla birlikte, kırmızı ve sarı renk yoğunluğunu belirten a^* ve b^* değerlerinde artış gözlenmiş, C^* değerlerinde de artış meydana gelmiştir, h^o değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Çalışmanın kapsamını genişletmek ve verniklerin ahşap üzerindeki etkilerini daha bütüncül değerlendirmek amacıyla ek testlerin yapılması önerilmektedir. Öncelikle, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri yapılarak verniklerin ahşap dokusu üzerindeki fiziksel etkileri analiz edilebilir. Ayrıca, parlaklık ölçümleriyle verniklerin yüzeye kazandırdığı görsel etki daha net ortaya konabilir. Uzun vadeli performans açısından ise UV dayanım testleri (hızlandırılmış yaşlandırma) uygulanarak vernikli yüzeylerin zamanla güneş ışığına karşı gösterdiği renk stabilitesi değerlendirilebilir. Bu testler, estetik ve dayanıklılık açısından daha sağlıklı vernik seçimi yapılmasına katkı sağlayacaktır.

Kaynaklar

ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Ayata, Ü., Bilginer, E.H., Çamlıbel, O., ve Ayata, A., (2024a). Sipo (*Entandrophragma utile*) ve maun (*Swietenia mahagoni* L.) odunlarında yat verniği uygulamasının renk değişikliği üzerine

etkisinin araştırılması, Technological Applied Sciences, 19(2): 16-22. DOI: 10.12739/NWSA.2024.19.2.2A0197.
Ayata, Ü., Bilginer, E.H., Çamlıbel, O., ve Kaplan, Ş., (2024b). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) ahşabı yüzeylerine uygulanmış solvent bazlı yat verniği katmanlarında bazı yüzey özellikleri üzerine kat sayısının etkileri, Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2(1): 41-49.
Ayata, Ü., ve Bal, B.C., (2024a). İsveç çamı (*Pinus cont*orta) ahşabında bazı vernik türlerinin uygulanması, Avrasya 10. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 2-5 Mayıs 2024, Tiflis, Gürcistan, 106-113.
Ayata, Ü., ve Bal, B.C., (2024b). Lati, mangga, balau red, karakavak ve awoura odun türlerinde sentetik vernik uygulamasının yapılması, Uzakdoğu 3. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 2-9 Ekim 2024, Pekin, Çin, 128-137.
Bombardier, V., and Schmitt, E., (2010). Fuzzy rule classifier: Capability for generalization in wood color recognition, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23(6): 978-988. DOI: 10.1016/j.engappai.2010.05.001.
Çamlıbel, O., ve Ayata, Ü., (2024). Keranji, niové, rubber, keruing ve berangan odunlarında solvent bazlı akrilik reçine esaslı mat verniğin uygulanması ve renk parametrelerinin karşılaştırılması, Latin Amerika 8. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi 1-5 Mayıs 2024, Havana, Küba, 756-763.
DIN 5033, (1979). Deutsche Normen, Farbmessung, Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV. Beuth, Berlin März.
Ekstedt, J., (2002). Studies on the barrier properties of exterior wood coatings (Doctoral dissertation, Byggvetenskap), KTH- Royal Institute of Technology, Department of Civil and Architectural Engineering, Division of Building Materials, Stockholm.
Escala Martínez, S.F., (2018). Propuesta de barniz a base de Baba de Nopal aplicado en tableros y madera natural de pino, Facultad de Ingeniería, Escuela de Construcción Civil.
Giraud, I., Dantras, E., Brun, A., Dihang, H., Brunel, L., Bernès, A., Meunier, G., and Lacabanne, C., (2008). Film formation analysis by diffusive wave spectroscopy, Progress in Organic Coatings, 64(4): 515-519. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2008.07.017.
JUNAC (Junta del Acuerdo de Cartagena), (1988). Manual del Grupo Andino para La Preservación de Maderas. Proyecto Sub-Regional de Promoción Industrial de la Madera para la construcción, Lima-Peru. 150 pp.
Kadoura, M., Saranjam, N., Chandra, S., and Fan, H., (2016). Nucleation of bubbles during drying of sprayed paint films, Progress in Organic Coatings, 99: 452-462. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2016.07.002.
Keil, G., (2012). Apuntes del curso de Xilotecnología, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. UNLP. 10 p.
Lange, D.R., (1999). Fundamentals of colourimetry - Application Report No, 10e, DR Lange: New York, NY, USA.
Mihăilă, A., Lisa, C., Mămăligă, I., and Lisa, G., (2021). Evaluation of the drying process of some varnishes and paints applied on fir wood, Buletinul Institutului Politehnic Iași, 67(71): 63-72.
Peker, H., Çamlıbel, O., ve Ayata, Ü., (2024). Sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) ahşabında bazı vernik türlerinin uygulanması üzerine bir çalışma, Teknik Meslek Yüksekokulları Akademik Araştırma Dergisi, 3(2): 17-23.

Peker, H., ve Ayata, Ü., (2024). Uludağ göknarı odununda farklı vernik türlerinin uygulanması ve renk parametrelerinin karşılaştırılması üzerine bir araştırma, Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2(2): 90-99.

Stratton, S.W., (1917). Circular of The Bureau of Standards, Director. No. 69, Paint and Varnish [1st Edition]. Issued November 17, 1917. Washington: Government Printing Office.

Taraborelli, C., (2016). Evaluación de recubrimientos de uso exterior aplicados en madera de *Pino ponderosa* (*Pinus ponderosa* Douglas ex. Laws) (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata).

Ulay, G., ve Ayata, Ü., (2024a). Yat verniği uygulanmış teak (*Tectona grandis* L.) ahşabında bazı yüzey özellikleri üzerine farklı kat sayılarının etkileri, Ege 12. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi, 26-30 Aralık 2024, İzmir, 1245-1250.

Ulay, G., ve Ayata, Ü., (2024b). Bazı vernik türlerinin elma ağacı (Malus domestica) odununda renk özellikleri üzerindeki etkileri, AICHEAS 4. Uluslararası Sağlık, Mühendislik ve Uygulamalı Bilimler Kongresi, 6-8 Aralık 2024, Muş, 262-268.

Zacarias, D.C., Hermosillo, M.G., López, L.W., Segoviano, M.H., Rangel, J.Y., Saldaña, M.S., Correa Guerra, D.M., Guzmán Álvarez, G., and Núñez, R.Z., (2024). Aplicación y caracterización de la formulación base quitosano y partículas de TiO_2 en madera. Verano de la Ciencia, 28.

Su Buharı İşlemi ile Doğu Çınarı, Ayous ve Amerikan Cevizi Odun Türlerinde Renk Stabilitesinin Değerlendirilmesi

Prof. Dr. Hüseyin PEKER[1], Doç. Dr. Göksel ULAY[2] ve Doç. Dr. Ümit AYATA[3]

[1]Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümü, Artvin, Türkiye
peker100@artvin.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-7771-6993
[2]Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Van Meslek Yüksekokulu, Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojisi Bölümü, Mobilya Dekorasyon Programı, Van, Türkiye
g.ulay@yyu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-4080-8816,
[3*]Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye
Sorumlu yazar: umitayata@yandex.com ORCID ID: 0000-0002-6787-7822

Özet

Bir ahşabın sıcak su buharına maruz kalması sonucunda renk değişiminin meydana gelmesi, hem estetik hem de işlevsel açıdan önemli sonuçlar doğurur. Öncelikle, ahşabın rengi, özellikle mobilya, iç mekân kaplamaları ve dekoratif ürünlerde kullanıcı tercihini doğrudan etkileyen en önemli görsel özelliklerden biridir. Bu çalışmada, doğu çınarı (*Platanus orientalis* L.), ayous (*Triplochiton scleroxylon*) ve Amerikan cevizi (*Juglans nigra*) odunlarına su buharı (100^{o}C'de 30 dakika süre ile) uygulamasının renk değişimlerine etkisi incelenmiştir. Renk analizleri, su buharı uygulamasının odun türlerine göre farklı etkiler yarattığını göstermiştir. Ayous odununda renk değişimi olumlu yönde iken, doğu çınarı ve Amerikan cevizi odunlarında koyulaşma gözlemlenmiştir. Çalışma, su buharı uygulamasının odunların renk özelliklerini değiştirdiğini ve odun türlerine özgü farklı sonuçlar doğurabileceğini ortaya koymuştur. Bu bulgular, odun türüne özel yüzey işlemleri için rehberlik sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Doğu çınarı, Ayous, Amerikan cevizi, Su buharı işlemi, Renk değişimi,

Evaluation of Color Stability in Oriental Plane, Ayous, and American Walnut Wood Species through Steam Treatment

Abstract

Exposure of wood to hot steam can lead to significant changes in color, which holds both aesthetic and functional importance. Among the most visually influential characteristics of wood, color plays a crucial role in consumer preference, especially in applications such as furniture, interior design, and decorative surfaces. This study investigates the effect of steam treatment (at 100°C for 30 minutes) on the color changes in three wood species: Oriental plane (*Platanus orientalis* L.), ayous (*Triplochiton scleroxylon*), and American walnut (*Juglans nigra*). Color measurements revealed that the steam treatment had distinct effects depending on the wood species. While ayous exhibited a positive change in color, darkening was observed in both Oriental plane and American walnut. The findings demonstrate that steam treatment alters the optical properties of wood and produces

species-specific outcomes. These results may serve as a practical reference for designing customized surface treatments tailored to individual wood types.

Keywords: Oriental plane, Ayous, American walnut, Steam treatment, Color change, Wood modification, CIE Lab* color space.

1. Giriş

Ahşap, özel teknik uygulamalara uygun hale getirmek için çok çeşitli işlemlere tabi tutulabilen doğal bir polimer kompozittir. Ahşabın en büyük dezavantajı higroskopikliğidir. Nemli ahşap, mantar ve termitlerin saldırısına karşı savunmasızdır ve boyutsal kararlılığını kaybetmesine neden olmaktadır. Higroskopikliğinin ana nedeni, ağaç liflerinin, oluşturan anhidroglukoz birimlerinin hidroksile doğası ile ilişkili bir polar yüzey sunmasıdır (Sun ve ark., 2011).

Renk, ahşap ürünlerin müşteriler tarafından algılanan kalite özelliklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Ahşap işlemleri sırasında, odun kesme, rendeleme ve frezeleme gibi mekanik işlemler ile kurutma uygulanarak dönüştürülmektedir. Avrupa yüksek değerli tropikal sert ağaç pazarlarında, ahşap ürünlerin dekoratif özellikleri (görünümü) ve renk tutarlılığı önemli görülmekte, çünkü ahşap bazlı ürünlerin yeni malzemelerle yoğun bir rekabet içinde olduğu belirtilmektedir (FAO, 2000; Sandoval-Torres ve ark., 2010).

Ağaç odununun rengi, bireysel ağaç türlerinin odunlarının görsel olarak ayırt edilmesini sağlayan makroskopik özellikler grubuna dâhil olan temel bir fiziksel-optik özelliktir. Odun rengi, odunun kimyasal bileşenlerinde (lignin ve boyar maddeler, tanenler, reçineler gibi ekstre maddeleri) bulunan >C=O, -CH=CH-CH=CH-, -CH=CH-, aromatik çekirdekler gibi fonksiyonel gruplar, yani kromoforlar tarafından oluşturulmaktadır. Bu kromoforlar, gün ışığının elektromanyetik radyasyonunun bazı bileşenlerini soğurarak, insan gözü tarafından algılanan odun yüzeyinin renginin oluşmasına neden olmaktadır (Dudiak ve ark., 2022).

Ahşap renginin homojenleştirilmesi çok önemli olmaktadır. Çünkü son müşteri genel renk homojenliğine ve lekelerin olmamasına çok dikkat etmektedirler (Tolvaj ve Molnar 2006; Todaro ve ark., 2012). Renk modifikasyonu ve homojenizasyonu, odun çekiciliğini artırmak için yaygın bir buhar işleme tekniğidir (Tolvaj ve ark., 2019).

Ahşabın hidrotermal işlemi, özellikle doymuş su buharıyla buharlama, genellikle daha yoğun ve homojen bir ahşap rengi elde etmek veya tonunu değiştirmek için kullanılmaktadır (Klarić ve ark., (2024).

Buhar-ısıl işlem, ahşabın boyutsal stabilitesini, çürümeye karşı direncini ve dayanıklılığını artırmada en etkili yöntemlerden biri olarak uzun zamandır bilinmektedir; aynı zamanda ahşabın rengini de koyulaştırmaktadır. Koyu rengin oluşum mekanizması açısından, buhar-ısıl işlemi sırasında ahşabın ana kimyasal bileşenleri ile ekstre maddelerinin özellikleri ve miktarlarında değişiklikler meydana gelmektedir. Renk, ahşap türleri mobilya ve dekoratif amaçlarla kullanıldığında genellikle büyük öneme sahiptir (Cao ve ark., 2012).

Bu çalışmada, Doğu çınarı, ayous ve Amerikan cevizi odunlarına 100 °C sıcaklıkta 30 dakika süreyle uygulanan su buharı işleminin, odunların renklerinde meydana getirdiği değişimler değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinin temel nedeni, su buharı işleminin farklı odun türleri üzerindeki renk değişimlerine etkisini ortaya koymaktır. Ahşap, doğal estetik özellikleri ve sıcak görünümü nedeniyle mobilya, iç mekân tasarımı ve dekoratif yüzey kaplamalarında sıkça tercih edilmektedir. Ancak, ahşabın rengi çevresel faktörler ve uygulanan işlemlere bağlı olarak zamanla değişebilmektedir. Bu bağlamda, su buharı işlemi gibi çevre dostu ve enerji açısından verimli yöntemlerin ahşap yüzey renginde oluşturduğu değişimlerin

belirlenmesi, estetik açıdan istenilen görünümlerin elde edilmesinde üreticilere ve tasarımcılara önemli katkılar sağlayabilir. Ayrıca, buhar işleminin ahşap içerisindeki doğal renk verici bileşikler üzerindeki etkilerinin anlaşılması, odunun kimyasal yapısındaki değişimlerin daha iyi kavranmasına olanak tanımaktadır. Doğu çınarı, ayous ve Amerikan cevizi gibi farklı yapısal özelliklere sahip odun türlerinin renk değişimlerine verdikleri tepkilerin karşılaştırılması ise, hem tür seçimi açısından yönlendirici olabilir hem de türler arası davranış farklılıklarına ilişkin bilimsel bilgi birikimini zenginleştirebilir. Bu nedenlerle, çalışma hem uygulamalı endüstriyel alanlarda hem de temel bilimsel araştırmalarda önemli katkılar sunmayı amaçlamaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada, üç farklı odun türü kullanılmıştır: doğu çınarı (*Platanus orientalis* L.), ayous (*Triplochiton scleroxylon*) ve Amerikan cevizi (*Juglans nigra*). Her bir tür için 100 mm x 100 mm x 20 mm boyutlarında odun örnekleri hazırlanmıştır. Örnekler üzerinde iklimlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir (ISO 554, 1976).

2.2. Metot

Odun örnekleri, her biri su buharında 100°C'de 30 dakika süreyle işlenmiştir. Uygulama sırasında, su buharı odun yüzeyinde uygulandıktan sonra örnekler soğutulmuş ve analiz için hazırlanmıştır. Ayrıca, her tür için kontrol grubundaki örnekler, su buharı uygulamasına maruz bırakılmadan doğrudan analiz edilmiştir.
Uygulama öncesi ve sonralarına ait yüzeyler üzerinde yapılan renk değişimleri CS-10 cihazında (ASTM D 2244-3, 2007) belirlenmiştir. ΔC^*: kroma kısmı veya doygunluk farkı ve ΔH^*: ton bölümü veya gölge farkı olarak tanımlanmıştır (Lange, 1999). Aşağıdaki formüller ile toplam renk farklılıklarına ait sonuçları hesaplanmıştır.

$$\Delta H^* = [(\Delta E^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C^*)^2]^{0.5} \quad (1)$$

$$\Delta a^* = (a^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmış}}) - (a^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmamış}}) \quad (2)$$

$$\Delta L^* = (L^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmış}}) - (L^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmamış}}) \quad (3)$$

$$C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5} \quad (4)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0.5} \quad (5)$$

$$\Delta C^* = (C^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmış}}) - (C^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmamış}}) \quad (6)$$

$$h^o = \arctan(b^*/a^*) \quad (7)$$

$$\Delta b^* = (b^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmış}}) - (b^*_{\text{sıcak su buharı uygulanmamış}}) \quad (8)$$

ΔL^*, Δa^*, Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999) Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. ΔL^*, Δa^*, Δb^* ve ΔC^* değerlerine ait tanımlamalar (Lange, 1999)

Parametre	Pozitif durumda	Negatif durumda
ΔC^*	Referansa göre, daha net ve daha parlak	Mat, referansa göre daha bulanık
Δa^*	Referansa göre daha kırmızı	Referansa göre daha yeşil
Δb^*	Referansa göre daha sarı	Referansa göre daha mavi
ΔL^*	Referansa göre daha açık	Referansa göre daha koyu

Δ*E** kıyaslama kriterleri (DIN 5033, 1979) Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Δ*E** için kriterler (DIN 5033, 1979)

Δ*E değeri**	**Görsel fark**	**Δ*E** değeri**	**Görsel fark**
<0.20	Algılanamaz	3.00 ila 6.00	Çok belirgin
0.20 ila 0.50	Çok zayıf	6.00 ila 12.00	Güçlü
0.50 ila 1.50	Zayıf	> 12.00	Çok güçlü
1.50 ila 3.00	Belirgin		

Bir istatistik programı ile en düşük ve en yüksek ölçümlere ait veriler, varyans analizleri, ortalamalar, standart sapma, % değişim oranları ve homojenlik grupları hesaplanmıştır.

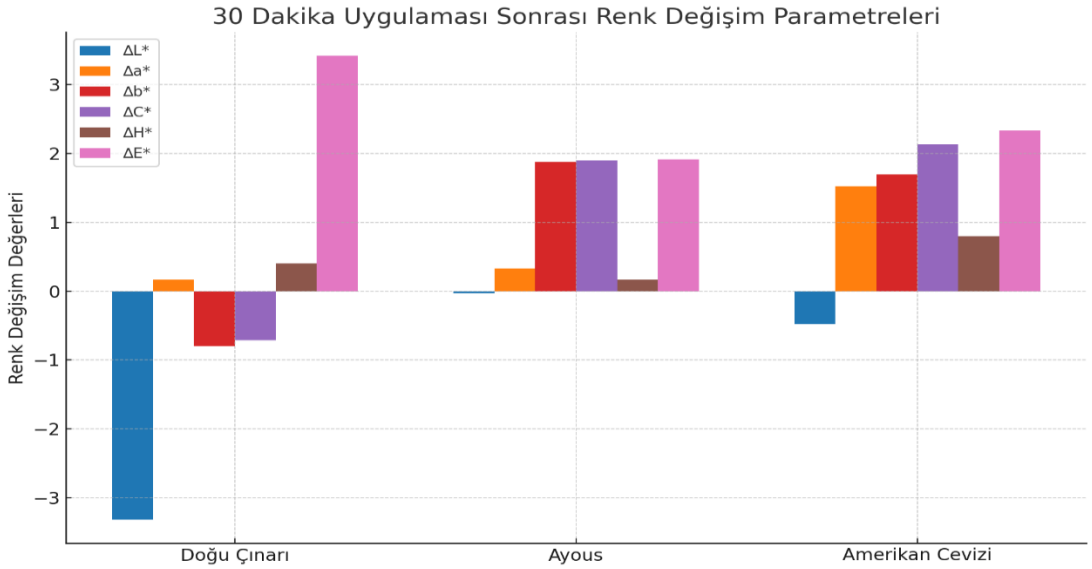
3. Bulgular ve Tartışma

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Δ*H** değerleri, 30 dakikalık bekletme süresi sonrasında doğu çınarı için 0.40, ayous için 0.17 ve Amerikan cevizi için 0.80 olarak elde edilmiştir. Aynı süre sonunda Δ*E** değerleri ise doğu çınarı için 3.42, ayous için 1.91 ve Amerikan cevizi için 2.33 olarak belirlenmiştir. Tüm ağaç türlerinde Δ*a** değerleri pozitif bulunmuş (referansa göre daha kırmızı), Δ*L** değerleri ise negatif olarak tespit edilmiştir (referansa göre daha koyu). Δ*b** ve Δ*C** değerleri doğu çınarı odununda negatif (sırasıyla referansa göre daha mavi ve daha mat, yani daha bulanık) bulunurken; ayous ve Amerikan cevizi odunlarında pozitif değerler göstermiştir (sırasıyla referansa göre daha sarı ve daha net, yani daha parlak). Renk değiştirme kriterleri (DIN 5033, 1979) açısından incelendiğinde, doğu çınarı için "çok belirgin (3.00 ile 6.00 arası)" değişim, ayous ve Amerikan cevizi için ise "belirgin (1.50 ile 3.00 arası)" değişim kriterlerine uygun sonuçlar elde edilmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 3. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları

Ağaç Türü	**Süre**	**Δ*L****	**Δ*a****	**Δ*b****	**Δ*C****	**Δ*H****	**Δ*E****	**Renk kriteri (DIN 5033, 1979)**
Doğu Çınarı	**30 dakika**	-3.32	0.17	-0.80	-0.71	0.40	3.42	Çok belirgin (3.00 ila 6.00)
Ayous	**30 dakika**	-0.03	0.33	1.88	1.90	0.17	1.91	Belirgin (1.50 ila 3.00)
Amerikan Cevizi	**30 dakika**	-0.48	1.52	1.69	2.13	0.80	2.33	

Toplam renk farklılıklarına ait sonuçların grafiksel sunumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçların grafiksel sunumu

Lignin, odun renginin başlıca kaynağı olarak kabul edilmekte olup, bunu ekstraktlar, pigmentler, tanenler ve reçineler izlemektedir. Isıl işlem sıcaklığı arttıkça odun renginin kademeli olarak koyulaşmasının birkaç nedeni olduğu belirtilmiştir (Wu ve ark., 2021):
1) Selüloz, hemiselüloz ve ligninin farklı derecelerde parçalanması gerçekleşmiş ve asetil ile karboksil gibi oksijen içeren grupların kademeli olarak ayrışması sonucunda karbon içeriğinde artış meydana gelmiştir (Wu ve ark., 2021),
2) *Pinus massoniana* odun ekstresinde çeşitli fenolik maddelerin bulunduğu ve hemiselüloz ile selülozun parçalanmasıyla birlikte bu fenolik maddelerin ısıl işlem sürecinde konsantrasyonlarının artmasıyla redoks reaksiyonlarına uğradığı ve bunun sonucunda odun renginin koyulaştırıldığı (Wu ve ark., 2021),
3) Isıl işlem sıcaklığı yükseldikçe ligninin parçalandığı, kondenzasyon reaksiyonlarına maruz kaldığı ve lignin konjugatındaki renk kromofor gruplarının hem uzadığı hem de miktar olarak arttığı tespit edilmiştir (Wu ve ark., 2021).
*L** parametresine ait SPSS sonuçları Çizelge 4'de gösterilmiştir. *L** değerine ait varyans analizi sonuçlarında ağaç türü (A), uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir. Doğu çınarı odununa ait kontrol örneklerindeki *L** parametresi 72.22 iken, 30 dakika su buharında bekletilen örneklerde *L** değeri 68.91'e düşmüştür. Bu, %4.58'lik bir azalma anlamına gelmektedir. Ayous odununda ise kontrol grubundaki *L** değeri 68.31'dir ve 30 dakika su buharına maruz kalma ile bu değer 68.29'a düşerek çok küçük bir değişim göstermiştir. Amerikan cevize ait kontrol deney örneklerinde *L** değeri 43.98 iken, 30 dakika su buharında bekletilen örneklerde *L** parametresi 43.50'ye düşmüştür. Bu, %1.09'luk bir azalma anlamına geldiği belirlenmiştir (Çizelge 4).

Çizelge 4. *L** parametresine ait SPSS sonuçları

One-Way-ANOVA sonuçları								
Ağaç Türü	**Uygulama**	**Mini-mum**	**Maksi-mum**	**Orta-lama**	**Değişim (%)**	**Homojenlik Grubu**	**Standart Sapma**	**Varyasyon Katsayısı**
Doğu Çınarı	**Kontrol**	72.07	72.42	72.22	↓4.58	A*	0.10	0.14
	30 dakika	68.32	69.36	68.91		B	0.43	0.62
Ayous	**Kontrol**	68.00	68.49	68.31	↓0.03	C	0.16	0.24
	30 dakika	66.35	69.45	68.29		C	1.29	1.90
Amerikan Cevizi	**Kontrol**	43.65	44.24	43.98	↓1.09	D**	0.23	0.52
	30 dakika	42.72	44.24	43.50		D**	0.53	1.22
Kontrol: Herhangi bir uygulama yapılmamıştır, Sıcak Su Buharında 30 dakika bekletilmiştir, Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç								
Tekli varyans analizi sonuçları								
Varyans Kaynağı		**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Ortalama Kare**	**F Değeri**		**p≤0.05 (*: Anlamlı)**	
Ağaç Türü (A)		8849.704	2	4424.852	11912.905		0.000*	
Uygulama (B)		24.333	1	24.333	65.512		0.000*	
Etkileşim (AB)		31.796	2	15.898	42.802		0.000*	
Hata		20.057	54	0.371				
Toplam		231226.784	60					
Düzeltilmiş Toplam		8925.891	59					

*a** parametresine ait SPSS sonuçları Çizelge 5'de gösterilmiştir. Doğu çınarı için kontrol grubunda 5.41 olan *a** değeri, 30 dakika su buharına maruz bırakıldıktan sonra 5.58'e çıkarak %3.14'lük bir artış göstermiştir. Ayous odununda kontrol grubunda 5.55 olan *a** değeri, 30 dakika su buharında bekletildikten sonra 5.88'e çıkarak %5.95'lik bir artış göstermektedir. Amerikan cevizi kontrol örneklerinde 6.18 olan *a** değeri, 30 dakika su buharında bekletildikten sonra 7.70'e çıkarak %24.60'lık dikkat çekici bir artış göstermiştir. Ayrıca, *a** parametresine ait varyans analizi sonuçlarında ağaç türü (A), uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur (Çizelge 5).

Çizelge 5. *a** parametresine ait SPSS sonuçları

One-Way-ANOVA sonuçları								
Ağaç Türü	**Uygulama**	**Mini-mum**	**Maksi-mum**	**Orta-lama**	**Değişim (%)**	**Homojenlik Grubu**	**Standart Sapma**	**Varyasyon Katsayısı**
Doğu Çınarı	**Kontrol**	5.17	5.56	5.41	↑3.14	D**	0.15	2.78
	30 dakika	5.31	5.86	5.58		D	0.21	3.73
Ayous	**Kontrol**	5.43	5.70	5.55	↑5.95	D	0.08	1.36
	30 dakika	5.57	6.18	5.88		C	0.25	4.19
Amerikan Cevizi	**Kontrol**	5.77	6.65	6.18	↑24.60	B	0.29	4.77
	30 dakika	7.13	8.25	7.70		A*	0.35	4.53
Kontrol: Herhangi bir uygulama yapılmamıştır, Sıcak Su Buharında 30 dakika bekletilmiştir, Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç								
Tekli varyans analizi sonuçları								
Varyans Kaynağı		**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Ortalama Kare**	**F Değeri**		**p≤0.05 (*: Anlamlı)**	
Ağaç Türü (A)		24.340	2	12.170	214.314		0.000*	
Uygulama (B)		6.801	1	6.801	119.757		0.000*	
Etkileşim (AB)		5.440	2	2.720	47.901		0.000*	
Hata		3.067	54	0.057				
Toplam		2236.040	60					
Düzeltilmiş Toplam		39.648	59					

*b** parametresine ait SPSS sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir. *b** parametresine ait varyans analizi sonuçlarına bakıldığında ağaç türü (A), uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak elde

edilmiştir. Doğu çınarı odunu örneklerinde, su buharı uygulaması sonrası *b** değeri 16.69'dan 15.89'a düşmüştür, bu da %4.79'luk bir azalma anlamına gelmektedir. Ayous odununda ise, su buharı uygulaması *b** parametresinde pozitif bir değişim yaratmıştır. Kontrol grubunda *b** değeri 21.02 iken, su buharı işlemi sonrasında 22.90'a çıkmıştır, bu da %8.94'lük bir artış anlamına gelmektedir. Amerikan cevizi odunu örneklerinde da *b** parametresi 16.78'den 18.48'e yükselmiştir, bu da %10.13'lük bir artış anlamına gelmektedir (Çizelge 6).

Çizelge 6. *b** parametresine ait SPSS sonuçları

One-Way-ANOVA sonuçları								
Ağaç Türü	**Uygulama**	**Mini-mum**	**Maksi-mum**	**Orta-lama**	**Değişim (%)**	**Homojenlik Grubu**	**Standart Sapma**	**Varyasyon Katsayısı**
Doğu Çınarı	**Kontrol**	16.50	16.85	16.69	↓4.79	D	0.12	0.71
	30 dakika	15.70	16.03	15.89		E**	0.10	0.63
Ayous	**Kontrol**	20.88	21.17	21.02	↑8.94	B	0.09	0.41
	30 dakika	22.61	23.14	22.90		A*	0.22	0.97
Amerikan Cevizi	**Kontrol**	16.24	17.18	16.78	↑10.13	D	0.29	1.74
	30 dakika	17.63	18.88	18.48		C	0.39	2.10
Kontrol: Herhangi bir uygulama yapılmamıştır, Sıcak Su Buharında 30 dakika bekletilmiştir, Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç								
Tekli varyans analizi sonuçları								
Varyans Kaynağı		**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Ortalama Kare**	**F Değeri**		**p≤0.05 (*: Anlamlı)**	
Ağaç Türü (A)		351.630	2	175.815	3328.390		0.000*	
Uygulama (B)		12.816	1	12.816	242.620		0.000*	
Etkileşim (AB)		22.387	2	11.194	211.910		0.000*	
Hata		2.852	54	0.053				
Toplam		21203.495	60					
Düzeltilmiş Toplam		389.685	59					

*C** değerine ait SPSS sonuçları Çizelge 7'de sunulmaktadır. *C** değerine ait varyans analizi sonuçlarına bakıldığında ağaç türü (A), uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak tespit edilmiştir (Çizelge 7). Doğu çınarı odununda, su buharı uygulamasına maruz kaldığında, *C** parametresinde bir azalma gözlemlenmiştir. Kontrol grubunda *C** değeri 17.56 iken, su buharı işleminden sonra bu değer 16.84 olarak belirlenmiştir, bu da %4.10'luk bir düşüşe işaret etmektedir. Ayous odunu örneklerinde ise su buharı işlemi, *C** parametresinde pozitif bir değişim sağlamıştır. Kontrol grubunda *C** değeri 21.74 iken, 30 dakika su buharı işlemine tabi tutulan örnekte bu değer 23.64'e çıkmıştır, yani %8.74'lük bir artış yaşanmıştır. Amerikan cevizi odununda da, su buharı işlemi sonrasında *C** değerinde bir artış gözlemlenmiştir. Kontrol grubundaki *C** değeri 17.89 iken, su buharı işleminden sonra bu değer 20.02'ye yükselmiştir, bu da %11.91'lik bir artış anlamına gelmektedir (Çizelge 7).

Çizelge 7. *C** değerine ait SPSS sonuçları

One-Way-ANOVA sonuçları								
Ağaç Türü	**Uygulama**	**Mini-mum**	**Maksi-mum**	**Orta-lama**	**Değişim (%)**	**Homojenlik Grubu**	**Standart Sapma**	**Varyasyon Katsayısı**
Doğu Çınarı	**Kontrol**	17.40	17.70	17.56	↓4.10	E	0.11	0.61
	30 dakika	16.66	17.02	16.84		F**	0.10	0.62
Ayous	**Kontrol**	21.60	21.90	21.74	↑8.74	B	0.09	0.41
	30 dakika	23.31	23.94	23.64		A*	0.27	1.13
Amerikan Cevizi	**Kontrol**	17.43	18.31	17.89	↑11.91	D	0.31	1.74
	30 dakika	19.15	20.45	20.02		C	0.43	2.17
Kontrol: Herhangi bir uygulama yapılmamıştır, Sıcak Su Buharında 30 dakika bekletilmiştir, Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç								

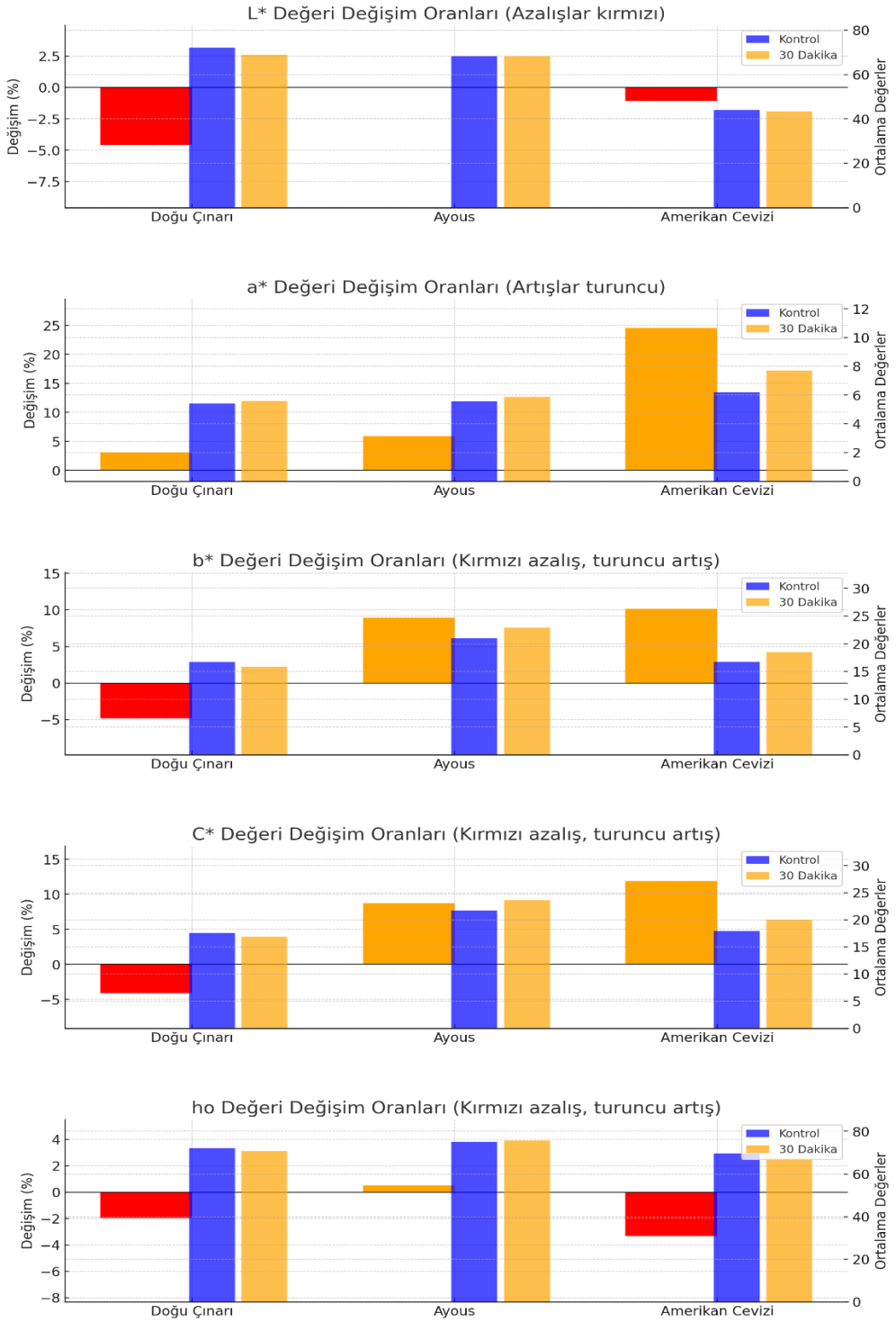
Tekli varyans analizi sonuçları					
Varyans Kaynağı	**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Ortalama Kare**	**F Değeri**	**p≤0.05 (*: Anlamlı)**
Ağaç Türü (A)	314.830	2	157.415	2445.939	0.000*
Uygulama (B)	18.337	1	18.337	284.931	0.000*
Etkileşim (AB)	24.965	2	12.483	193.955	0.000*
Hata	3.475	54	0.064		
Toplam	23446.893	60			
Düzeltilmiş Toplam	361.607	59			

h^o parametresine ait SPSS sonuçları Çizelge 4'de gösterilmektedir. h^o parametresine ait varyans analizi sonuçlarında ağaç türü (A), uygulama (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak belirlenmiştir. Doğu çınarı deney örneklerinde, kontrol örneği ve 30 dakika su buharında bekletilen örnekler arasında h^o parametresi açısından negatif bir değişim gözlemlenmiştir. Kontrol grubundaki h^o değeri 72.05 iken, su buharı uygulanan örnekte h^o değeri 70.65'e düşmüştür. Bu değişim, %1.94'lük bir azalma göstermektedir. Ayous deney örneklerinde ise su buharı işlemi, h^o parametresini pozitif yönde etkilemiştir. Kontrol örneği için h^o değeri 75.21 iken, su buharında bekletilen örnekte h^o değeri 75.60'a yükselmiştir. Bu artış %0.52'lik bir değer göstermektedir. Ayous türü, su buharı işlemiyle h^o parametresinde küçük bir artış göstermiştir. Amerikan cevizi odununda ise su buharı uygulaması, h^o parametresinde negatif bir değişim yaratmıştır. Kontrol örneği için h^o değeri 69.68 iken, 30 dakika su buharında bekletilen örnek için bu değer 67.37'ye düşmüştür, yani %3.32'lik bir azalma görülmüştür (Çizelge 8).

Çizelge 8. h^o parametresine ait SPSS sonuçları

One-Way-ANOVA sonuçları								
Ağaç Türü	**Uygulama**	**Mini-mum**	**Maksi-mum**	**Orta-lama**	**Değişim (%)**	**Homojenlik Grubu**	**Standart Sapma**	**Varyasyon Katsayısı**
Doğu Çınarı	**Kontrol**	71.49	72.94	72.05	↓1.94	B	0.49	0.68
	30 dakika	69.72	71.66	70.65		C	0.70	0.99
Ayous	**Kontrol**	74.80	75.47	75.21	↑0.52	A	0.19	0.25
	30 dakika	74.95	76.34	75.60		A*	0.47	0.63
Amerikan Cevizi	**Kontrol**	68.51	71.00	69.68	↓3.32	D	0.96	1.38
	30 dakika	66.01	68.37	67.37		E**	0.82	1.22
Kontrol: Herhangi bir uygulama yapılmamıştır, Sıcak Su Buharında 30 dakika bekletilmiştir, Ölçüm Sayısı: 10, Homojenlik grubu sütunu için *: En yüksek sonuç, **: En düşük sonuç								
Tekli varyans analizi sonuçları								
Varyans Kaynağı		**Kareler Toplamı**	**Serbestlik Derecesi**	**Ortalama Kare**	**F Değeri**		**p≤0.05 (*: Anlamlı)**	
Ağaç Türü (A)		478.386	2	239.193	556.029		0.000*	
Uygulama (B)		18.293	1	18.293	42.525		0.000*	
Etkileşim (AB)		18.876	2	9.438	21.940		0.000*	
Hata		23.230	54	0.430				
Toplam		309501.466	60					
Düzeltilmiş Toplam		538.785	59					

Bütün renk parametrelerine ait sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Bütün renk parametrelerine ait sonuçların grafiksel gösterimi

Literatürde, sıcak su buharı ile yapılan çalışmalarda ahşap malzeme üzerinde önemli sonuçların elde edildiği rapor edilmiştir. Bunlara örnek olarak ise;

Sudo ve ark., (1985) tarafından yapılan araştırmada, buharlama işlemiyle modifiye edilmiş odun ligninlerinin (STWL) kimyasal özelliklerini açıklığa kavuşturmak amacıyla, kayın odunu (*Fagus*

crenata) 183-230°C arasında doygun buhar ile çeşitli sürelerde muamele edilmiştir. %90 dioxane ile ekstrakte edilebilen lignin miktarı, buharlama sıcaklığı yükseldikçe ve süre uzadıkça belirgin şekilde artmış; örneğin 230°C'de 2 dakika buharlanan odundan %70'ten fazla lignin çözünür hale gelmiştir. Farklı buharlama koşullarında işlenen odunlardan elde edilen ligninler, elementel ve fonksiyonel analizler, jel permeasyon kromatografisi (GPC), kızılötesi spektroskopi, 13C-NMR ve nitrobenzen oksidasyonu yöntemleri ile incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla, kayın öğütülmüş odun lignini (MWL) de aynı yöntemlerle analiz edilmiştir. Buharlama sürecinde, ß-aril eter bağlarının kapsamlı kırılmasıyla lignin parçalanmış ve yüksek fenolik hidroksil içeriğine sahip STWL elde edilmiştir. Aynı zamanda, alifatik hidroksil grubu içeriğinde azalma gözlenmiştir. STWL'nin kimyasal özelliklerinin buharlama sıcaklığına bağlı olduğu belirlenmiştir; nispeten düşük sıcaklıklarda (183-215 °C) buharlanmış odundan elde edilen lignin syringil birimleri açısından zengin ve yalnızca hafifçe modifiye olmuşken, daha yüksek sıcaklıkta (230 °C) işlenen STWL'nin büyük olasılıkla yoğun kondanse yapılar içeren ve daha fazla modifiye olmuş türde ligninden oluştuğu saptanmıştır.

Zhang ve ark. (2013) tarafından yürütülen bir araştırmada, *Neosinocalamus affinis* bambusundan gevşek yapıda lifli kaplamalar üretilmiş ve bu kaplamalar bambu esaslı lif kompozitlerinde temel bileşen olarak kullanılmıştır. Lifli kaplamalara yönelik buharla muamele işlemi, 0.35 MPa ile 0.45 MPa (147°C ila 155°C) arasında değişen basınçlarda ve 110 ila 170 dakika süreyle bir otoklav içerisinde gerçekleştirilmiştir. Buharla muamele sonrasında lifli kaplamaların üç renk parametresi (Lab*) de anlamlı düzeyde değişiklik göstermiştir. Renk farkı (ΔE^*) ise artan basınç ve süreyle birlikte yükselmiştir. L^* değeri açısından, örnekler 0.40 MPa basınç altında 110 dakika süreyle işlem gördüğünde %26.87 oranında anlamlı bir azalma tespit edilmiştir. Aynı basınçta işlem süresi 140 dakikaya uzatıldığında azalma %29.35'e, 170 dakikada ise %32.14'e ulaşmıştır. Süre 140 dakika olarak sabit tutulduğunda ve buhar basıncı 0.35 MPa'dan 0.45 MPa'ya artırıldığında, kontrol örnekleri ile muamele edilmiş örnekler arasında belirgin farklar ortaya çıkmıştır; bu bağlamda, 0.35 MPa'da %27.32, 0.40 MPa'da ise %29.35 oranında azalma gözlenmiş, ancak 0.40 MPa ile 0.45 MPa arasındaki uygulamalarda L^* değerinde anlamlı bir fark bulunmamıştır. L^* değerlerindeki bu düşüş, örneklerin renginde gözle görülür bir koyulaşma ile ilişkilendirilmiştir.

Banadics ve ark., (2019) tarafından yapılan araştırmada kavak odununda buhar sıcaklığının 100°C'den 110°C ve 120°C'ye artması ile L^* değerlerinde azalışlar bulunurken, a^* ve b^* değerlerinde ise artışlar elde edilmiştir.

Dzurenda ve Dudiak, (2019) araştırmalarında huş odununa yapılan 105, 125 ve 135 C sıcaklıklardaki 3, 6, 9 ve 12 saatlik süreler ile buhar uygulamasında sıcaklık ve sürenin artması ile L^* değerlerinde azalışlar ve a^* değerlerinin artışlar elde etmişlerdir.

Tolvaj ve ark., (2019) tarafından yapılan araştırmada, Sugi odun örnekleri (öz odun ve diri odun) üzerinde yapılan 90°C ve 110°C buhar sıcaklıklarında 5. günde L^* değerlerinde azalışların ve b^* değerlerinde artışların belirlendiği rapor edilmiştir.

Dzurenda ve Dudiak (2020) tarafından yapılan çalışmada, kayın odununun doygun su buharı ile farklı sıcaklık ve sürelerde termal modifikasyonu sonucunda yoğunluk, asitlik ve renk özelliklerinde değişiklikler gözlemlenmiştir. Termal işlem, odunun yoğunluğunu modlara göre farklı şekillerde etkilemiş, asitlik ise işlem süresi ve sıcaklığı arttıkça azalmıştır. Renk değişimleri açık gri-sarı tonlardan kahverengi-kırmızı tonlara doğru kaymıştır ve parlaklık azalmıştır. CIE Lab* renk uzayında ölçülen renk koordinatları, işlem modlarına bağlı olarak farklı değerler göstermiştir. Ayrıca, termal modifikasyon sürecinde harcanan ısı ve doygun su buharı miktarları belirlenmiştir.

Novák ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, sanayi açısından önemli olan huş ağacı (*Betula pendula* L.) özelliklerinin doygun su buharı ile yapılan termal işlem sonrasında değiştirilebileceği gösterilmiştir. Huş ağacı, 125 ± 2,5 °C sıcaklıkta, 0,18 MPa basınçta ve 8 saat süreyle doygun su buharı ile modifiye edilmiştir. Buhar işlemine tabi tutulan huş ağacının su temas açısının, işlem görmemiş huş ağacına göre 42.1°'den 52.4°'ye yükseldiği ve su damlasının yüzeydeki stabilitesinin arttığı belirlenmiştir. FTIR spektrumlarında, buhar işleminden geçmiş huş ağacının yüzeyinde C=O ve glikozid bağlarının konsantrasyonunda artış, ancak C–O–C gruplarının konsantrasyonunda azalma tespit edilmiştir. XPS ölçümleri ile, doygun su buharı ile işlem görmüş huş ağacının yüzeyinde oksijen ile C=O ve C–O–O gruplarının konsantrasyonlarında artış olduğu doğrulanmıştır. SEM mikro fotoğrafları, doygun su buharı modifikasyonunun huş ağacı hücrelerinde küçük değişikliklere neden olduğunu göstermiştir.
Dudiak ve Dzurenda, (2021) tarafından yapılan araştırmada kızılağaç odunu üzerinde 95, 115 ve 125^{o}C'lerde yapılan sıcak buhar uygulamaları neticesinde uygulama süresinin 3 saatten 6 saate çıkması ile *b** ve *L** değerlerinde azalışlar elde edilirken, *a** değerlerinde ise artışlar tespit edilmiştir.
Klarić ve ark., (2024) tarafından yapılan araştırmada armut öz ve diri odunlarında buhar süresinin artması ile *L** ve *b** değerlerinde azalışlar tespit edilirken, *a** değerlerinde artışlar bulunmuştur.
Dudiak'ın (2025) çalışmasında, basınçlı buharlama işlemi sırasında (105 °C ile 125 °C arasında, 6 ile 24 saat süreyle) kayın odununda bulunan öz odunu ve normal beyaz odunun renk ve asitlik değişimleri incelenmiştir. Beyaz-gri ve sarı tonlu ağaç kısmı, buharlama sırasında soluk pembe ile kırmızı-kahverengi tonlara dönüşürken, öz odunu 24 saatlik buharlama sürecinde kahverengi-gri tonlara dönüşmüştür. Ölçülen veriler ve görsel değerlendirmeler sonucunda, sahte öz odunu ile beyaz odun arasında renk birliği sağlanabileceği tespit edilmiştir; bu birliğe 105 °C'de 18 saat ve 125 °C'de 12 saat buharlama ile ulaşılmaktadır. Ayrıca, hemiselüloz hidrolizinin etkisiyle kayın odununun asitlik seviyesi buhar işlemi sırasında değişmekte, pH değerleri beyaz odun için 5.2'den 3.6'ya, sahte kalp odunu için ise 5.0'den 3.9'a düşmektedir. Toplam renk farkı (Δ*E**) ile asitlik değişimi arasındaki ilişki ikinci dereceden bir polinom fonksiyonuyla ifade edilmiştir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Doğu çınarı, ayous ve Amerikan cevizi odunlarına su buharı uygulamasının etkisi incelenmiştir. Her üç odun türü için yapılan renk parametresi analizleri sonucunda, su buharı uygulamasının odunların renk özelliklerini önemli ölçüde değiştirdiği gözlemlenmiştir.
Doğu çınarı odununda, su buharı uygulaması *L** parametresini azaltarak, odunun daha koyu bir hale gelmesine yol açmıştır. Ayrıca, *a** ve *b** parametrelerinde de değişiklikler gözlenmiş, ancak bu değişikliklerin kontrol grubuna kıyasla daha düşük seviyelerde kaldığı söylenebilir.
Ayous odununda, su buharı uygulaması ile *L** değeri çok küçük bir farkla azalmış, ancak *a** ve *b** parametrelerinde belirgin artışlar gözlemlenmiştir. Bu da ayous odununun su buharı uygulaması ile daha canlı bir renk almasına neden olmuştur.
Amerikan cevizi odununda ise su buharı uygulaması, *L** parametresinde önemli bir değişim yaratmış ve odun daha koyu bir renge bürünmüştür. Bununla birlikte, *a** ve *b** parametrelerinde de benzer şekilde olumsuz etkiler gözlemlenmiştir.
Bu sonuçlardan hareketle, su buharı uygulamasının odunların renk özelliklerini etkilediği ve her bir odun türünün bu uygulamaya farklı tepkiler verdiği anlaşılmaktadır. Su buharı uygulamasının özellikle ayous odunu gibi bazı türlerde olumlu renk değişimlerine neden olabileceği, diğer türlerde ise olumsuz etkiler oluşturabileceği görülmüştür.

Su buharı uygulamasının etkileri, uygulama süresi ve sıcaklık gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle, farklı uygulama süreleri ve sıcaklık koşullarında yapılacak çalışmalarla, en ideal sonuçları sağlayacak parametrelerin belirlenmesi faydalı olacaktır.

Kaynaklar

Kaynaklar

ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Banadics, E. A., Tolvaj, L., and Varga, D., (2019). Colour stability of steamed poplar wood during short-term photodegradation, BioResources, 14(4): 8250-8256. DOI: 10.15376/biores.14.4.8250-8256.

Cao, Y., Jiang, J., Lu, J., Huang, R., Jiang, J., and Wu, Y., (2012). Color change of Chinese fir through steam-heat treatment, BioResources, 7(3): 2809-2819.

DIN 5033, (1979). Deutsche Normen. Farbmessung, Normenausschuß Farbe (FNF) im DIN Deutsches Institut für Normung eV. Beuth. Berlin März.

Dudiak, M., (2025). Evaluation of the process of steaming beech sapwood and false heartwood with saturated water steam in terms of acidity changes and color wood, Forests, 16(5). 864. DOI: 10.3390/f16050864.

Dudiak, M., and Dzurenda, L., (2021). Changes in the physical and chemical properties of alder wood in the process of thermal treatment with saturated water steam, Coatings, 11(8): 898. DOI: 10.3390/coatings11080898.

Dudiak, M., Dzurenda, L., and Kučerová, V., (2022). Effect of sunlight on the change in color of unsteamed and steamed beech wood with water steam, Polymers, 14(9): 1697. DOI: 10.3390/polym14091697.

Dzurenda, L., and Dudiak, M., (2019). The effect of time and temperature of saturated water steam on acidity and wood colour in the process of thermal modification of silver birch wood colour, International Journal- Wood, Design & Technology, 8(1): 18-26.

Dzurenda, L., and Dudiak, M., (2020). Changes in wood tree species *Fagus sylvatica* L. and characteristics of the thermal process of modifying its color with saturated water steam, Advances in Ecological and Environmental Research, 5(4): 142-156.

FAO, (2000). Plan Estratégico Forestal. Tegucigalpa, Honduras: Organisatión de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

ISO 554, (1976). Standard atmospheres for conditioning and/or testing, International Standardization Organization, Geneva, Switzerland.

Klarić, M., Španić, N., Budrović, Z., Zorić, A.Č., Pervan, S., and Klarić, K., (2024). Color change of pear wood (*Pyrus communis* L.) during water steam treatment, Forests, 15(10): 1685. DOI: 10.3390/f15101685.

Lange, D.R., (1999). Fundamentals of Colourimetry - Application Report No. 10e. DR Lange: New York, NY, USA.

Novák, I., Sedliačik, J., Kleinová, A., Janigová, I., Mičušík, M., Bekhta, P., Šlouf, M., Matyašovský, J., Jurkovič, P., and Jurkovič, P., (2022). The effect of thermal treatment with saturated water steam on the properties of birch wood, Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 64(1): 5-14. DOI: 10.17423/afx.2022.64.1.01.

Sandoval-Torres, S., Jomaa, W., Marc, F., and Puiggali, J.R., (2010). Causes of color changes in wood during drying, Forestry Studies in China, 12(4): 167-175. DOI: 10.1007/s11632-010-0404-8.

Sudo, K., Shimizu, K., and Sakurai, K., (1985). Characterization of steamed wood lignin from beech wood, Holzforschung 39: 281-288. DOI: 10.1515/hfsg.1985.39.5.281.

Sun, Q., Yun Lu, Y., and Liu, Y., (2011). Growth of hydrophobic TiO_2 on wood surface using a hydrothermal method, Journal of Materials Science, 46: 7706-7712.

Todaro, L., Zuccaro, L., Marra, M., Basso, B., and Scopa, A., (2012). Steaming effects on selected wood properties of Turkey oak by spectral analysis, Wood Science and Technology, 46: 89-100. DOI: 10.1007/s00226-010-0377-8.

Tolvaj, L., and Molnár, S., (2006). Colour homogenisation of hardwood species by steaming. Acta Silvatica et Lignaria Hungarica, 2: 105-112.

Tolvaj, L., Banadics, E.A., Tsuchikawa, S., Mitsui, K., and Preklet, E., (2019). Color modification and homogenization of sugi wood (*Cryptomeria japonica*) by steaming, Asian Journal of Forestry, 3(1): 20-24. DOI: 10.13057/asianjfor/r030103.

Wu, Z., Deng, X., Li, L., Xi, X., Tian, M., Yu, L., and Zhang, B., (2021). Effects of heat treatment on interfacial properties of *Pinus Massoniana* wood, Coatings, 11(5): 543. DOI: 10.3390/coatings11050543.

Zhang, Y., Yu, W., and Zhang, Y., (2013). Effect of steam heating on the color and chemical properties of *Neosinocalamus affinis* bamboo, Journal of Wood Chemistry and Technology, 33(4): 235-246. DOI: 10.1080/02773813.2013.779714.

ÜSTLENİLMİŞ TRAVMA VE İKİNCİL TRAVMATİK STRESİN PSİKİYATRİ HEMŞİRELERİNE ETKİLERİ

THE EFFECTS OF VICARIOUS TRAUMA AND SECONDARY TRAUMATIC STRESS ON PSYCHIATRIC NURSES

Hayriye Ecem BABAOĞLU

Lisansüstü Öğrencisi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı

ORCID ID: 0009-0003-0193-0832

Arzu KOÇAK UYAROĞLU

Doç. Dr., Selçuk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı

ORCID ID: 0000-0002-6581-4617

ÖZET

Stres, organizmanın iç ya da dış çevreden gelen her türlü istek ya da tehdide karşı gösterdiği, özgül olmayan yanıtlardır. Bireysel farklılıklar nedeniyle stres, davranışlar, sosyal ilişkiler ve yaşam kalitesi gibi değişkenleri etkileyebilmektedir. Travma ise bireyin fiziksel, psikolojik ve çevresel bütünlüğünü tehdit eden; insan eliyle gerçekleşen (savaş, işkence vb.) ve doğal afetler (deprem, sel vb.) olmak üzere iki grupta sınıflandırılan kişi/toplum üzerinde sarsıcı etki yaratan yaşantıları ifade etmektedir. Bu noktada özellikle travma yaşayan bireyler ile çalışan ruh sağlığı çalışanlarında ise "üstlenilmiş travma" ve "ikincil travmatik stres" görülebilmektedir. Üstlenilmiş travma, değişen kimlik algılarını, dünya görüşlerini, psikolojik gereksinim alanlarını, inançlarını kapsayan içsel değişim sürecini ifade eder. İkincil travmatik stres ise ruh sağlığı çalışanlarının hizmet verdikleri alanda trajik bir olaya tanık olmaları, bu olaya ilişkin bilgiye sahip olmaları ya da mesleki rolleri gereği dolaylı olarak maruz kalmaları sonucunda ortaya çıkan duygu durum ve stres tepkisidir. İkincil travmatik stres belirtileri tek bir deneyim sonucunda, aniden ortaya çıkabilen ve akut belirtiler olarak görülmekteyken; üstlenilmiş travma kavramı zaman içinde birikimli olarak gerçekleşen, kimlik algılarını ve dünya görüşlerini etkileyen daha kalıcı olma eğilimi gösteren içsel değişimdir. Ek olarak, ikincil travmatik stres zamanla birikebilir ve üstlenilmiş travmaya da yol açabilir. Psikiyatri hemşireleri, travma yaşayan bireylere destek verme, terapi ve tedavi uygulama gibi sorumluluklarından dolayı bu bireylerle sürekli iş birliği ve temas halindedirler. Ayrıca psikiyatri hemşireleri doğrudan travmatik olaylara tanık olmasalar dahi travma yaşayan bireylerle kurulan profesyonel ilişki nedeniyle de travmatik olaylardan etkilenebilmektedirler. Bu nedenle

derlemede üstlenilmiş travma ve ikincil travmatik stresin psikiyatri hemşireleri üzerindeki etkilerini güncel literatür doğrultusunda incelemek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Psikiyatri Hemşireliği, İkincil Travmatik Stres, Üstlenilmiş Travma.

ABSTRACT

Stress is the non-specific responses of the organism to all kinds of demands or threats coming from the internal or external environment. Due to individual differences, stress can affect variables such as behavior, social relationships and quality of life. Trauma, on the other hand, refers to experiences that threaten the physical, psychological and environmental integrity of the individual and have a shocking effect on the person/society, which are classified into two groups as man-made (war, torture etc.) and natural disasters (earthquake, flood etc.). At this point, "vicarious trauma" and "secondary traumatic stress" can be seen especially in mental health professionals who work with individuals who have experienced trauma. Vicarious trauma refers to the internal change process that encompasses changing identity perceptions, worldviews, psychological need areas and beliefs. Secondary traumatic stress, on the other hand, is the emotional state and stress reaction that occurs when mental health professionals witness a tragic event in the field they provide service, have knowledge about this event, or are indirectly exposed to it due to their professional roles. While secondary traumatic stress symptoms are seen as acute symptoms that can appear suddenly as a result of a single experience; The concept of vicarious trauma is a cumulative internal change that affects identity perceptions and worldviews and tends to be more permanent. In addition, secondary traumatic stress can accumulate over time and lead to vicarious trauma. Psychiatric nurses are in constant collaboration and contact with individuals who have experienced trauma because of their responsibilities such as providing support, therapy and treatment to these individuals. In addition, even if psychiatric nurses do not directly witness traumatic events, they can be affected by traumatic events because of the professional relationship they have with individuals who have experienced trauma. Therefore, the aim of this review is to examine the effects of vicarious trauma and secondary traumatic stress on psychiatric nurses in line with current literature.

Keywords: Psychiatric Nursing, Secondary Traumatic Stress, Vicarious Trauma.

GİRİŞ

"Stres" kavramı, ilk kez Hans Selye tarafından literatüre kazandırılmış olup, kökenini Latince *"estrictia"* ve Eski Fransızca *"estrece"* sözcüklerinden almakta, anlam olarak baskı, zorlanma ve gerilimi ifade etmektedir. Tarihsel süreçte bu kavram, bedensel ve ruhsal hastalıkların temel nedenlerinden biri olarak görülmeye başlanmıştır. Stres, bireyin yaşam koşullarında meydana gelen değişimlere verdiği tepkilerle ortaya çıkan bir durumdur ve etkilenme düzeyi bireyden bireye farklılık gösterebilmektedir. Fiziksel, psikolojik ve davranışsal düzeyde sağlık sorunlarına yol açabilen stresin sonuçları, bireyin başa çıkma stratejilerine bağlı olarak farklılaşmaktadır.

Travma ise bireyin ruhsal veya bedensel bütünlüğünü tehdit eden ve kalıcı izler bırakabilen olaylar bütünü olarak tanımlanmaktadır. Travmatik olaylar insan kaynaklı (savaş, işkence, cinsel saldırı

vb.) ya da doğal (deprem, sel, ölüm gibi) olaylar sonucu ortaya çıkabilmektedir. Bu tür olaylar sonrasında bireylerde kaçınma, yeniden yaşantılama ve artmış uyarılmışlık gibi belirtiler gözlemlenebilir. Travmaya doğrudan maruz kalan bireylerin yanı sıra, bu bireylere hizmet sunan sağlık profesyonelleri de psikolojik olarak etkilenebilmektedir.

Üstlenilmiş travma, travma yaşamış birey veya topluma hizmet sunan kişinin kimlik, dünya görüşü ve inançlarında içsel değişimler ile belirti verebilmekteyken; ikincil travmatik stres, doğrudan maruziyet olmaksızın travmatik olaylara tanık olma ya da bu olayları dinleme yoluyla ortaya çıkan dolaylı stres belirtilerini ifade etmektedir. Psikiyatri hemşireleri meslekleri gereği, travma yaşayan bireylere destek verme, terapi ve tedavi uygulama gibi nedenlerden dolayı sürekli iş birliği ve temas halindedirler. Psikiyatri hemşireleri doğrudan travmatik olaylara tanık olmasalar dahi travma yaşayan kişi ile kurulan profesyonel ilişki nedeniyle travmatik olaylardan etkilenebilmekte, üstlenilmiş travma ya da ikincil travmatik stres yaşayabilmektedirler.

ÜSTLENİLMİŞ TRAVMA

Üstlenilmiş travma kavramı ilk olarak McCann ve Pearlman (1990) tarafından travma yaşayan kişilere hizmet sunan meslek elemanlarında ortaya çıkan ve bu kişilerin kimlik algılarında, dünya görüşlerinde, psikolojik gereksinim alanlarında, inançlarında ve bellek sistemlerinde meydana gelen değişimleri ifade etmek için kullanılmıştır. Zaman içinde birikimli olarak ortaya çıkan bu durum, travmatik olayın ayrıntılarıyla ilgilenmenin ve bu olayı yaşayan kişiyle empatik ilişki kurmanın doğal ve kaçınılmaz bir sonucu olarak görülmektedir (McCann ve Pearlman 1990, Pearlman ve Saakvitne 1995).

Travma mağdurları ile çalışan hizmet alanlarında üstlenilmiş travma deneyimini arttırdığı düşünülen üç temel koşul bulunmaktadır. Bu koşullar, danışman, danışanın aktardığı travmatik içeriğe empatik yaklaşımda bulunması ve doğrudan maruz kalması; danışmanın, insan kaynaklı travmaların gerçekliğiyle empatik düzeyde yüzleşmesi; danışanın çocukluk dönemindeki yaşadığı duygusal deneyimleri danışmana yansıtması olarak tanımlanan transferans tepkiler aracılığıyla, danışmanın terapi süreci içinde ilk travmatik deneyimlerin yeniden canlandırılmasına katılması olarak sıralanmaktadır. Bu bağlamda, danışanın transferans yoluyla ortaya koyduğu tepkiler, ilk travmanın bazı unsurlarını terapötik ilişkide yeniden canlandırarak terapistin bu yaşantının bir parçası hâline gelmesine neden olabilir (Pearlman ve Saakvitne 1995).

Üstlenilmiş travma, travma etkilerinin zamanla birikerek meydana geldiğini ve kişilerin kimlik algılarında, dünya görüşlerinde, psikolojik gereksinim alanlarında, inançlarında ve bellek sistemlerinde meydana gelen değişimlerin kademeli olarak geliştiğini vurgular. Üstlenilmiş travma, bireyin kendisiyle ve dünyayla ilgili bilişsel şemalarında oluşan değişimlerin bir süreç içinde ortaya çıktığını ve bu değişimlerin daha kalıcı hale geldiğini göstermektedir (Figley 1995, Pearlman ve Saakvitne 1995).

Üstlenilmiş travma kavramı, psikanalitik, sosyal öğrenme ve bilişsel gelişim teorilerini temsil eden Yapısalcı Kendilik Gelişimi Kuramına (Constructivist Self Development Theory) dayalı olarak ortaya konmuştur. Yapısalcı Kendilik Gelişimi Kuramının temel özelliği, tüm bireylerin kendileri,

başkaları ve yaşadığımız dünya hakkındaki inanç ve beklentilerini yansıtan bilişsel şemalara sahip olmalarıdır. Bu bilişsel şemalar; a) güvenlik: bireyin kendisinin ve sevdiği diğer insanların tehlikelerden uzak olduğuna inanması, b) güven duyma: bireyin kendi yargılarına ve yeteneklerine güvenebileceği inancı ve isteklerinin karşılanacağı konusunda diğerlerine güvenebileceği inancı, c) saygınlık: bireyin değerli olduğuna ve çevresinde değer verdiği insanlara sahip olduğuna inanması, d) yakınlık: bireyin kendisiyle ve diğerleriyle bağlantıda olduğuna inanması, e) kontrol: bireyin kendi duygu ve davranışlarını yönetebileceğine ve diğerlerinin davranışlarını etkileyebileceğine inanmasıdır (Pearlman ve Saakvitne 1995).

Bilişsel şemalar, sosyalleşme süreciyle gelişir ve sonraki deneyimlerin yorumlanmasında rehberlik eder. Güvenlik, kontrol, güç ve yakınlık gibi temel psikolojik ihtiyaçlara yönelik bu şemalar, travmatik deneyimlerle ciddi şekilde etkilenebilir (McCann ve Pearlman 1990, Pearlman ve Saakvitne 1995). Travma, bireyin dünyanın güvenli ve iyi bir yer olduğuna dair inançlarıyla çelişen kanıtlar sunar. Danışman, doğrudan travmaya maruz kalmasa da travma yaşayan danışanlarla çalışırken bu deneyimlere dolaylı olarak maruz kalır. Bu durum danışmanın kendi bilişsel şemalarını sorgulamasına neden olabilir ve dolaylı travmanın belirtisi olan duygusal, davranışsal ve kişilerarası tepkiler ortaya çıkabilir.

Üstlenilmiş travma, bireyin travmatik olaylara verdiği tepkinin, kendi bilişsel şemalarıyla etkileşimi sonucu oluşur ve bu nedenle her bireyde farklı şekilde belirti verebilir. Travma yaşamış birey/topluma hizmet sunan meslek elemanlarında üstlenilmiş travma; maneviyat, dünya görüşü ve öz kimlik algısında bozulmalara yol açabilir. Bu durum, güven, kontrol, yakınlık ve güvenlik gibi temel bilişsel şemalarda değişikliklere neden olur. Sonuç olarak danışmanlar, travmatik stresin belirtileri olan istila olayları tekrar yaşama ve kaçınma gibi tepkiler gösterebilirler (McCann ve Pearlman 1990, Pearlman ve Saakvitne 1995).

ÜSTLENİLMİŞ TRAVMA VE İLİŞKİLİ KAVRAMLAR

Travma ile dolaylı olarak etkileşime giren veya onlara hizmet sunan profesyonellerin işlerinden nasıl ve neden etkilenebileceklerini açıklamak üzere, karşı aktarıma (McCann ve Pearlman 1990, Wilson ve Lindy 1994), tükenmişlik (Freudenberger 1974, Maslach 2003) ve merhamet yorgunluğu (Joinson 1992, Cr 1995, Figley 1995) kavramları kullanılmaktadır. Bu yapılar arasında ilişki olduğu düşünülse de üstlenilmiş travmanın diğerlerinden bazı yönleri ile farklılaştığı düşünülmektedir (Kadambi ve Ennis 2004).

Üstlenilmiş Travma ve Karşı Aktarım

Üstlenilmiş travma terapistin tüm danışanlara yönelik duygusal, bilişsel ve davranışsal tepkilerini ifade etmekteyken karşı aktarım terapistlerin belirli danışanlara yönelik duygusal, bilişsel ve davranışsal tepkilerini tanımlamaktadır (Kadambi ve Ennis 2004). Pearlman ve Saakvitne (1995a)' e göre: Bir terapistin yaşadığı üstlenilmiş travma belirtileri arttıkça karşı aktarım tepkileri güçlenebilir veya bilinçli farkındalık ile tepkileri kontrol etme durumu artabilir. Bu bağlamda üstlenilmiş travma ve karşı aktarım birbirini etkilemektedir (Pearlman ve Saakvitne 1995, Isobel ve Thomas 2022).

Üstlenilmiş Travma ve Tükenmişlik

Üstlenilmiş travmanın aksine, tükenmişlik daha genel bir mesleki durum olarak değerlendirilmekte ve yalnızca travma alanında çalışanlarla sınırlı kalmayıp, tüm meslek gruplarını etkileyebilecek bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir. Tükenmişlik; duygusal tükenme, hizmet verdiği kişilerden kopma ve mesleki yeterlilik hissinin azalması gibi belirtilerle tanımlanmakta ve psikiyatri hemşirelerinin yoğun duygusal, fiziksel ve zihinsel talepler karşısında zorlanmalarına neden olabilmektedir. Buna karşın, üstlenilmiş travma özellikle travma mağdurlarıyla çalışan profesyonellerde görülen ve doğrudan travmaya maruz kalmaksızın başkasının travmatik yaşantısına sürekli tanıklık etmenin sonucu olarak gelişen bir durumdur. Bu yönüyle, üstlenilmiş travmanın tükenmişlikten farklı olarak daha derin ve kalıcı etkiler doğurabileceği ileri sürülmektedir. Bu bağlamda tükenmişliğin çoğunlukla iş ortamıyla sınırlı, geçici ve önlenebilir bir süreç olduğu belirtilirken; üstlenilmiş travmanın etkilerinin iş yaşamının ötesine geçerek bireyin özel hayatını da kapsayacak biçimde genişleyebileceği ifade edilmektedir (Kadambi ve Ennis 2004, Isobel ve Thomas 2022).

Üstlenilmiş Travma ve Merhamet Yorgunluğu

Figley (1995b), merhamet yorgunluğunu, bir başkasının yaşadığı travmatik olaya dair bilgi sahibi olmanın doğal bir sonucu olarak ortaya çıkan stres, duygular ve davranışlar bütünü olarak tanımlar. Figley'e göre bu durum, travmatize olmuş bireylere yardım etme arzusundan kaynaklanır. Merhamet yorgunluğu; duygusal tükenme, çaresizlik, izolasyon gibi belirtilerin yanı sıra, danışanın yaşadığı travmaya benzer şekilde gelişen müdahaleci ve kaçınmacı tepkilerle kendini gösterir (Cr 1995, Figley 1995, Isobel ve Thomas 2022).

Travma mağdurlarıyla çalışmanın kaçınılmaz ve geri döndürülemez bir sonucu olduğu öne sürülen üstlenilmiş travmanın aksine, merhamet yorgunluğu, duygusal acı ve ıstırap yaşayan kişilerle empati kurma sonucunda ortaya çıkan, hemşirelik rolü için gerekli olan şefkatin kişisel tükenmesini ifade eder. Merhamet yorgunluğu tedavi edilebilir ve önlenebilir bir durumdur (Figley 1995, Isobel ve Thomas 2022). Üstlenilmiş travma ise, empatiye karşı nörobiyolojik bir tepki olarak bireyin kontrolü dışında gelişir. Travmatik anlatılara tekrar tekrar maruz kalmanın sonucu olarak ortaya çıkan bu durum, yalnızca mesleki işlevi değil, bireyin tüm yaşam alanlarını etkileyebilir. Özellikle psikiyatri hemşireleri gibi travma mağdurlarıyla sürekli çalışan profesyoneller için kaçınılmazdır ve en önemlisi kalıcı içsel değişimlere yol açabilir. Bu nedenle, psikiyatri hemşireleri hem merhamet yorgunluğu hem de üstlenilmiş travma açısından yüksek risk altındadır (Kadambi ve Ennis 2004, Isobel ve Thomas 2022).

İKİNCİL TRAVMATİK STRES

İlk kez 1985 yılında Rosenheck ve Nathan tarafından travmanın bulaşabilirliğini vurgulamak için kullanılan ikincil travmatik stres, bireyin ciddi biçimde strese yol açan bir duruma ya da trajik bir olaya tanık olması, bu olaya ilişkin bilgiye sahip olması ya da işi nedeniyle dolaylı olarak maruz kalması sonucunda yaşadığı duygu durum ve stres tepkisidir (Gürkan ve Yalçıner 2017). Bireyin sosyal çevresi, aile bireylerinden ya da arkadaşlarından travma yaşayanların deneyimlerini dinlemek, sarsıcı bir olaya şahit olmak ya da travma yaşayan bireylerle çalışmaya bağlı olarak

ikincil travmatik stres ortaya çıkabilir. Travmatik bir olayı dinleyen veya travmatik olay yaşamış bireylere hizmet veren kişi, olaya doğrudan maruz kalan kişiye karşı gösterdiği empati sonucu mağdurla aynı duyguları yaşayabilir, benzer klinik belirtiler ortaya çıkabilir, tutum ve davranışlarında değişiklikler görülebilir (Gürkan ve Yalçıner 2017, Yanbolluoğlu 2019).

Figley (1995), travma mağdurlarına yardım eden profesyonellerin ikincil travmatik stres yaşama riskine işaret etmiş ve bu duruma yol açan dört temel faktörü açıklamıştır. İlk faktör olan empati, travma çalışanları için mağdurlara yardım sürecinde vazgeçilmez bir araç olmasına rağmen, aynı zamanda onların travmatik deneyimlere duygusal olarak maruz kalmalarına neden olmaktadır. Pek çok travma çalışanının kendi yaşamlarında bir veya daha fazla travmatik olay yaşaması ikinci faktör olarak gösterilmiştir; bu durum, onların başkalarının acılarına karşı daha duyarlı olmalarına ve bu acılardan daha fazla etkilenmelerine zemin hazırlamaktadır. Üçüncü faktör, çalışanın çözülmemiş kişisel travmalarının varlığıdır; bu tür yaşantılar, başkalarının travmalarına tanıklık ederken yeniden tetiklenerek duygusal yükü artırabilmektedir. Son olarak, çocukların yaşadığı travmaların, bakım verenler için özellikle zorlayıcı olduğu belirtilmiştir; çünkü çocuklara karşı hissedilen doğal koruma içgüdüsü, bu vakaların daha derin ve sarsıcı bir şekilde deneyimlenmesine yol açmaktadır. Figley'in belirttiği bu dört faktör, travmaya hizmet veren profesyonellerin ruhsal dayanıklılıklarının desteklenmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır (Beck 2011).

İkincil Travmatik Stres ve Tükenmişlik

İkincil travmatik stresin aksine, tükenmişlik genellikle yavaş ve kademeli olarak gelişir. Tükenmişlik, uzun süreli ve yoğun duygusal olarak zorlayıcı durumlara maruz kalmanın bir sonucu olarak ortaya çıkan fiziksel, duygusal ve bilişsel yorgunluk hali olarak tanımlanmaktadır. Bu durum, yalnızca genel yorgunluk değil; aynı zamanda bireyde kişilik değişiklikleri ve öznel başarı algısında azalma gibi psikososyal etkileri de beraberinde getirir. Psikiyatri hemşireliği alanında çalışan profesyoneller, hastalarının yaşadığı yoğun travmatik deneyimlere doğrudan ya da dolaylı maruz kalmaları nedeniyle ikincil travmatik stres ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu durum, hemşirelerin empati yoluyla hastaların travmalarını içselleştirmeleri sonucu duygusal tükenmişliğe ve mesleki performansta düşüşe neden olabilmektedir (Beck 2011).

ÜSTLENİLMİŞ TRAVMA VE İKİNCİL TRAVMATİK STRESİN PSİKİYATRİ HEMŞİRELERİNE ETKİLERİ

Psikiyatri hemşireleri meslekleri gereği, destek verme, terapi ve tedavi uygulama süreçlerinde travma mağdurlarına yardım sağlamak amacıyla temas ve iş birliği içerisindedirler. Psikiyatri hemşireleri doğrudan travmatik olaylara veya kalıntılara maruz kalmazlar ancak travmatik olayların ayrıntılarına dahil olduklarından ve travma mağduru ile profesyonel ve duygusal bir bağ kurduklarından dolayı travmatik olaylardan etkilenirler (Bride ve Figley 2012, Figley 2013). Bu durum zamanla travmatik strese yol açmakta ve birikerek üstlenilmiş travma gelişimine zemin hazırlamaktadır (Yılmaz ve Bekaroğlu 2025). Bu tür travmalar, profesyonellerin hem mesleki hem de kişisel yaşamlarını olumsuz yönde etkileyebilmekte ve ruh sağlığında uzun süreli hatta kalıcı bozulmalara yol açabilmektedir.

İkincil travmatik stres belirtileri çoğunlukla hızlı bir şekilde başlar ve kişide fark edilmeden ilerleyebilir. Bu durum, bireyin zamanla sosyal çevresinden uzaklaşmasına, karmaşıklık ve umutsuzluk gibi belirtiler yaşamasına neden olabilir (Gürkan ve Yalçıner 2017, Özkul ve Var 2018). İkincil travmatik stres, bireyleri mesleki, fiziksel ve emosyonel olmak üzere üç temel düzeyde etkileyebilmektedir. Mesleki düzeyde; bazı hastalarla çalışmaktan kaçınma, hastalara veya yakınlarına karşı empati yoksunluğu, işe karşı isteksizlik ve işe gelmeme gibi durumlar gözlenebilmektedir. Fiziksel düzeyde; baş ağrısı, sindirim problemleri, kas gerginliği, uyku bozuklukları, yorgunluk ve kardiyak semptomlar görülebilirken, emosyonel düzeyde ise huzursuzluk, sürekli danışanın travmasını düşünme, anksiyete, madde kullanımı, depresyon, öfke, güvensizlik, stresle başa çıkamama, kişilik özelliklerinde zayıflama, yalnızlaşma, kaçınma, şiddete karşı duyarlılık, yetersizlik duygusu, algı değişiklikleri ve bellek sorunları gibi belirtiler ortaya çıkabilmektedir (Gürkan ve Yalçıner 2017). Yıldırım'a (2023) ikincil travmatik stres, zamanla bireyin yaşam kalitesini ve mesleki işlevselliğini düşürerek kaygı, depresyon, alkol ve madde bağımlılığı gibi çeşitli ruhsal bozukluklara ve alışkanlıklara zemin hazırlayabilmektedir (Yıldırım 2023).

Çetinkaya'ya (2018) göre, sosyal ilişkilerin ve verimliliğin zayıflaması, işe zamanında başlayıp işi zamanında bitirmeme, görevlerin gecikmesi ve meslek elemanları arasındaki profesyonel ilişkilerin zedelenmesi ikincil travmatik stres belirtilerindendir. Ayrıca iş göremezlik, alkol ve madde kullanımı ve bağımlılık, merhamet yorgunluğu, tükenmişlik sendromu, depresyon (Atalay 2017), azalan iş memnuniyeti (Barleycorn 2019), duygusal tükenme (Eroğlu ve Arıkan 2016), işten ayrılma niyetinin olması (Öztoprak, Özen-Bekar 2023), çalışma yeteneği, sosyal desteğin ve iş üzerindeki kontrolün azalması ve çalışma süresinin artması (Bock ve ark. 2020), somatizasyon ve anksiyete (Can 2020) ile azalan yaşam doyumu (Hall 2016), hayattan keyif alamama, mutsuzluk, depresyon ve yaşamın anlamını yitirme hissi gibi semptomlar, ikincil travmatik stresin ve üstlenilmiş travmanın yaygın sonuçlarındandır (Yilmaz ve Sahin 2007, Bride ve Figley 2012, Zara ve İçöz 2015, Birinci ve Erden 2016, Eroğlu ve Arıkan 2016, Var ve Büyükbodur 2017).

İkincil travmatik stres, travmaya doğrudan maruz kalmadan, başkalarının travmatik deneyimlerini dinlemek, izlemek ya da anlamaya çalışmak gibi dolaylı yollarla gelişen, daha çok kısa vadeli ve akut stres tepkileriyle karakterize edilen bir durumdur (Figley 1995). İkincil travmatik stresin etkileri genellikle daha hızlı fark edilir ve müdahale ile gerileyebilir. Buna karşın üstlenilmiş travma, zamanla birikerek gelişen ve bireyin bilişsel şemalarında, temel inançlarında ve kimlik algısında kalıcı değişimlere yol açan daha derin bir yapısal etkilenmedir (Pearlman ve Saakvitne 1995). Özellikle psikiyatri hemşirelerinde görülebilen uyarılma ve kaçınma semptomları, uyku bozuklukları, dikkat ve duygudurumda bozulma gibi belirtiler, üstlenilmiş travmanın uzun süreli etkilerine işaret etmektedir (Yılmaz ve Bekaroğlu 2025). Üstlenilmiş travma, tek bir karşılaşmayla değil, travmatik öykülere sürekli ve yoğun biçimde maruz kalma sonucu gelişmekte, böylece mesleki işlevsellik kadar bireyin yaşam kalitesini de olumsuz etkilemektedir (Pearlman ve Saakvitne 1995).

Üstlenilmiş travma, travma mağdurlarıyla sürekli olarak çalışan profesyonellerde gelişen, istemsiz ve kontrol dışı bir nörobiyolojik tepkidir. Bu durum özellikle psikiyatri hemşireleri gibi travmatik anlatılara yoğun şekilde maruz kalan bireylerde kişisel ve mesleki yaşamda kalıcı içsel değişimlere yol açabilmektedir (Kadambi ve Ennis 2004, Isobel ve Thomas 2022). Dolaylı travmanın duygusal belirtileri arasında uzun süreli keder, kaygı, sinirlilik, öfke ve güvensizlik duyguları; bilişsel belirtiler arasında ise alaycılık, olumsuz düşünceler, konsantrasyon güçlüğü ve travmatik anıların zihinde sürekli yer etmesi yer almaktadır. Davranışsal düzeyde izolasyon, madde kullanımı, uyku ve yeme bozuklukları; fizyolojik düzeyde ise sık baş ağrısı, mide rahatsızlıkları ve açıklanamayan fiziksel semptomlar görülebilmektedir (Jimenez ve ark 2021). Travma öykülerinin sürekli dinlenmesi; duygusal tükenme, anksiyete ve uyku bozuklukları gibi stres belirtilerine neden olarak hem bireyin yaşam kalitesini hem de mesleki performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle psikiyatri hemşireleri, hem üstlenilmiş travma hem de merhamet yorgunluğu açısından yüksek risk altındadır (Isobel ve Thomas 2022).

Yapılan çalışmalar, psikiyatri hemşirelerinin sosyal hizmet uzmanlarına kıyasla daha olumlu baş etme düzeylerine sahip olduklarını; ancak psikologlara kıyasla daha düşük düzeyde başa çıkabildiklerini ortaya koymuştur (Isobel ve Thomas 2022). Üstlenilmiş travmanın gelişimini etkileyen birçok bireysel ve çevresel faktör bulunmaktadır. Üstlenilmiş travmayı kolaylaştıran risk etmenleri arasında yüksek iş yükü, yetersiz kaynaklar, kişisel-mesleki çatışmalar, bireyin geçmiş travma öyküsü, öz-yeterlilik algısının düşüklüğü, sosyal destek eksikliği ve manevi inançlardaki zayıflık gibi bireysel kırılganlıklar yer almaktadır (Clark ve Gioro 1998, Maier 2011, Tabor 2011, Raunick ve ark 2015, Jahner ve ark 2019). Şefkat ve empati, hemşirelik bakımının temel bileşenleri arasında yer almakta ancak empati, psikiyatri hemşiresinin hastanın duygularını içselleştirmesine ve travmatik anlatılara maruz kalmasına neden olarak, kişiyi dolaylı travmaya ve üstlenilmiş travmaya açık hale getirebilmektedir. Bu nedenle empati, hem şefkatli bakımın anahtarı hem de psikolojik risk taşıyan bir unsur olarak, “iki ucu keskin kılıç” metaforuyla ifade edilmektedir (Isobel ve Thomas 2022). Bununla birlikte, rol netliği, sürekli mesleki eğitim olanakları, akran desteği ve mesleki deneyim gibi koruyucu faktörlerin varlığı, hemşirelerin bu etkilerden kısmen korunmalarını sağlamaktadır (Tabor 2011, Wies ve Coy 2013, Jahner ve ark 2019, Isobel ve Thomas 2022).

ÜSTLENİLMİŞ TRAVMA VE İKİNCİL TRAVMATİK STRES İLE İLGİLİ LİTERATÜR İNCELEMESİ

Güler ve arkadaşlarının (2025) yaptığı çalışmada, psikolojik travma yaşamış bireylere bakım veren psikiyatri hemşirelerinin ikincil travmatik stres ve başa çıkma deneyimleri fenomenolojik yöntemle incelenmiştir. Araştırma, Şubat-Nisan 2024 tarihleri arasında Türkiye’de bir psikiyatri hastanesinde, 18 psikiyatri hemşiresi ile yarı yapılandırılmış derinlemesine bireysel görüşmeler yoluyla gerçekleştirilmiştir. Çalışma bulgularına göre, psikiyatri hemşirelerinde mesleki deformasyon, şefkat yorgunluğu ve ikincil travmatik stres yaygın olarak gözlemlenmiştir. Özellikle çocuklara yönelik travmatik deneyimlerde hemşirelerin yoğun duygusal zorluklar yaşadığı, bu durumun bakım kalitesini ve hemşirelerin psikolojik iyilik halini olumsuz etkilediği belirlenmiştir.

Katılımcılar, travma yaşanmış hastalarla çalışmanın getirdiği çaresizlik ve tükenmişlik hissinden söz etmiş, duygusal yükün mesleki performans ve yaşam kalitesini düşürdüğünü vurgulamışlardır. Ayrıca, bazı hemşireler yaşadıkları yoğun stres nedeniyle mesleği bırakmayı düşündüklerini ifade etmiştir. Öte yandan, içsel şefkat duygusunun başa çıkmada destekleyici bir faktör olduğu, ancak bu durumun mesleki bağlılığı tam olarak koruyamadığı gözlenmiştir (Gülirmak Güler ve ark 2025).

2021 yılında Jimenez ve arkadaşları tarafından psikologlar, psikiyatri ve ruh sağlığı hemşireleri, aile terapistleri, rehabilitasyon danışmanları ve sosyal hizmet uzmanları gibi farklı ruh sağlığı profesyonellerinde ikincil travmatik stres ve üstlenilmiş travma düzeyleri değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde Travma ve Bağlanma İnanç Ölçeği (TABS) ile Travma Sonrası Stres Bozukluğu (PTSD) belirtileri kontrol listeleri kullanılmıştır. Ayrıca, dolaylı travma belirtilerinin ölçümünde yaygın olarak tercih edilen Dolaylı Travma Ölçeği (VTS) ile katılımcıların yaşadığı öznel sıkıntı düzeyi belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, kişisel travma öyküsüne sahip ruh sağlığı çalışanlarının, ikincil travmatik strese ve uzun süreli travmatik deneyimlere bağlı üstlenilmiş travmaya daha fazla maruz kaldığını ortaya koymuştur. Dolaylı travma, temel inanç ve bilişsel süreçlerde değişikliklere yol açarak benlik algısı, güven, kontrol ve ilişki kurma becerilerini etkileyebilir. Bu durum, ruh sağlığı çalışanlarının terapötik işlevselliğini etkileyerek iş performansları ve yaşam kalitelerini düşürebilmektedir (Jimenez ve ark 2021).

Zara ve İçöz'ün 2015 yılında psikiyatri hemşireleri üzerine yaptığı bir çalışmanın sonucunda; yaptığı işten ve gelirden memnun olan psikiyatri hemşirelerinde daha az ikincil travmatik stres belirtileri görülmekteyken kırsal kesimlerde, yetersiz iş koşulları içinde ve gönüllü olarak çalışan psikiyatri hemşirelerinde ikincil travmatik stres belirtilerine daha çok rastlanmıştır. Ayrıca, kişisel travma geçmişine sahip olmanın ikincil travmatik stresi geliştirme konusunda güçlü bir etken olduğu ortaya çıkmıştır. Ekonomik şartların zor, eğitim/uzmanlaşma imkanlarının kısıtlı ve mağdurlara ekonomik şartlar nedeniyle ruh sağlığı hizmetlerinin çoğunlukla gönüllülük esasıyla sağlandığı Türkiye'nin Doğu kısımlarında, Batı'ya göre daha çok ikincil travma yaşayan psikiyatri hemşirelerine rastlanmıştır. Travma türleri arasında en çok insan eliyle yapılmış olan travmaların ruh sağlığı çalışanlarında, ikincil travmaya yol açabileceği gözlemlenmiştir. Fakat insan eliyle yapılmış travmaların kendi içinde bir farkı görülmemiştir (Zara ve İçöz 2015).

Psikoterapi uygulayan ruh sağlığı uzmanları (psikiyatr, psikolog, psikiyatri hemşiresi) arasında üstlenilmiş travma, empati ve tükenmişlik arasındaki etkileşimi incelemeyi amaçlayan bu çalışma Kamu ve özel sektörde çalışan 214 ruh sağlığı uzmanından (32 erkek, 182 kadın) oluşan örneklem grubuna çevrim içi olarak demografik anket, Danışman Tükenmişlik Envanteri, Dolaylı Travma Ölçeği ve Jefferson Hekim Empati Ölçeği uygulanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre özellikle üstlenilmiş travmanın, tükenmişlik sendromu gelişiminde belirleyici rol oynadığını, psikoterapiye empatik katılımın terapistlerin tükenmişlik ve üstlenilmiş travma riskini artıran bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, tükenmişlik ve üstlenilmiş travma açısından cinsiyet ve medeni duruma göre anlamlı bir farklılık göstermemektedir ancak konu ile yapılmış farklı çalışmalarda kadın terapistlerin erkek terapistlere göre daha yüksek düzeyde ve duygusal

tükenmişlik bildirdiklerini ortaya koymuştur (Arvay ve Uhlemann 1996, Maslach 1998, Kounenou ve ark 2023).

Altekin (2014), örseleyici yaşantıları olan danışanlarla çalışan ruh sağlığı profesyonellerinin ikincil travmatik stres belirtilerini ve bu belirtileri arttıran risk faktörlerini araştırdığı çalışmasında, 260 ruh sağlığı profesyonelinin ikincil travmatik stres belirtileri Travma Sonrası Stres Tanı Ölçeği (Işıklı, 2006) ile ölçülmüştür. Yapılan çalışma sonucunda; yaşın, çalışma yükünün ve travma konulu görüşmelerin sayıca artmasının, profesyonellerde ikincil travmatik stres belirtilerini artırdığı öte yandan, eğitim düzeyi, travma üzerine alınan özel eğitimler ve algılanan sosyal desteğin artması, ikincil travmatik stres belirtilerini azalttığı tespit edilmiştir (Altekin 2014). Benzer şekilde, örseleyici yaşantılara sahip danışanlara hizmet sunan ruh sağlığı çalışanlarının dolaylı travmatizasyonunu ve bu durumu yordayan risk faktörlerini inceleyen başka bir çalışmada; yaş, artan çalışma yükü ve travma içerikli görüşme sıklığı ile dolaylı travmatizasyon şiddeti arasında pozitif bir ilişki olduğu bulunmuştur. Ayrıca, eğitim düzeyi, travma alanında alınan özel eğitimler ve algılanan sosyal destek arttıkça, dolaylı travmatizasyon belirtilerinin azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak, profesyonelin daha önce deneyimlediği öznel travmanın şiddeti arttıkça, dolaylı travmatizasyon düzeyinin de yükseldiği saptanmıştır (Kahil ve Palabıyıkoğlu 2018).

SONUÇ VE ÖNERİLER

Travma alanında çalışan profesyonellerin, özellikle de psikiyatri hemşirelerinin, hizmet verdikleri bireylerin travmatik yaşantılarına tanıklık etmeleri, zamanla onların da benzer travma sonrası stres tepkileri göstermelerine neden olabilmektedir. Yapılan bilimsel araştırmalar, örselenmiş bireylere psikososyal destek sunan profesyonellerin, mesleki rollerini yerine getirirken ikincil travmatik strese maruz kalabildiklerini ve bu durumun ruhsal, duygusal ve fiziksel düzeyde çeşitli olumsuzluklara sebep olabileceğini ve zamanla birikerek bireyin bilişsel şemalarında, temel inançlarında ve kimlik algısında kalıcı değişimlere yol açabileceğini ortaya koymuştur (Yilmaz ve Sahin 2007, Bride ve Figley 2012, Zara ve İçöz 2015, Birinci ve Erden 2016, Eroğlu ve Arıkan 2016, Var ve Büyükbodur 2017).

Bu bağlamda, travma mağdurlarına yardım ve hizmet sunan profesyonellerin, özellikle psikiyatri hemşirelerinin, travmatik etkilere maruz kalma düzeylerini en aza indirmek ve ikincil travma riskini önlemek amacıyla koruyucu ve iyileştirici ruh sağlığı müdahaleleri büyük önem taşımaktadır. Psikiyatri hemşireleri bu süreçte kritik bir role sahiptir; çünkü psikiyatri hemşireliği, “birey, aile ve toplumun ruh sağlığının geliştirilmesinde, ruhsal hastalık ve acı çekme yaşantısını önlemede ya da hastalıkla baş etme ve gerekirse bu yaşantılardan anlam bulmada profesyonel bir hemşirenin yardım ettiği kişilerarası bir süreçtir” (Yıldırım 2023). Bu nedenle, psikiyatri hemşirelerinin ikincil travmatik stresten korunmaları yalnızca bireysel çabalarla sınırlı olmamalı; aynı zamanda bağlı oldukları kurumlar ve sağlık sistemleri tarafından da sistematik biçimde desteklenmelidir. Hem bireysel hem de kurumsal düzeyde alınacak önlemler sayesinde, psikiyatri hemşirelerinin ruhsal dayanıklılıkları güçlendirilebilir, travmatik etkilenme riski azaltılabilir ve bu yolla sunulan hizmetin niteliği olumlu düzeyde etkileyebilir.

Bireysel düzeyde önerilen önlemler arasında, birincil ve ikincil travma kavramlarına yönelik farkındalığın artırılması, gerektiğinde psikolojik danışmanlık, terapi ve süpervizyon kaynaklarına ulaşılması, öz-farkındalığın geliştirilmesi ve mesleki bilgi birikimin ve eğitim düzeyinin artırılması yer almaktadır. Bu doğrultuda psikiyatri hemşirelerinin zaman yönetimi, duygu düzenleme, etkili iletişim kurma, iş-özel yaşam dengesi oluşturma gibi kişisel becerileri geliştirmesi teşvik edilmelidir. Ayrıca hobilerle ilgilenme, sosyalleşme, yeterli uyku, dengeli beslenme ve öz-bakım uygulamalarına önem verilmesi; hemşirelerin psikolojik iyilik hâllerini destekleyerek travmaya karşı dayanıklılıklarını artıracaktır (Varan ve Demirel 2024).

Kurumsal düzeyde ise travma riski taşıyan birimlerde çalışan meslek elemanlarının düzenli olarak ikincil travmatik stres belirtileri açısından değerlendirilmesi, çalışma saatlerinin düzenlenmesi, destek grubu oturumlarının sağlanması, süpervizyon ve danışmanlık sistemlerinin yapılandırılması önerilmektedir. Ayrıca, kurum içi psikoeğitim programları hazırlanmalı ve meslek elemanlarının başvurabileceği yardım kaynakları açıkça tanıtılmalıdır. Psikiyatri hemşirelerine yönelik olarak bilişsel davranışçı terapi, psikodrama, grup terapileri gibi etkili psikososyal müdahale tekniklerini kullanma becerilerinin geliştirilmesi, konsültasyon liyezon psikiyatrisi gibi birçok konuda eğitim almaları ve bilgi sahibi olmaları gerekmektedir (Beck 2011, Büyükbayram ve ark 2016, Doğan ve ark 2021). Özellikle afet, kriz ve travma bölgelerinde doğrudan müdahale sunan hemşirelerin; hizmet içi eğitimler, sempozyumlar ve güncel araştırmalar yoluyla bilgi ve becerilerini güncellemeleri oldukça önemlidir (Yıldırım 2023).

Sonuç olarak, psikiyatri hemşirelerinin ikincil travmatik stres ve üstlenilmiş travmadan korunması çok boyutlu ve bütüncül yaklaşımlar gerektiren bir süreçtir. Hem bireysel hem de sistematik düzeyde alınacak önlemler, bu meslek grubunun hem kendi ruh sağlığını koruması hem de bakım verdikleri bireylere kaliteli hizmet sunabilmeleri açısından kritik öneme sahiptir. Travma ve etkilerinden korunmak amacıyla daha fazla disiplinler arası iş birliği, saha temelli araştırma yapılması, önleyici ruh sağlığı uygulamalarının etkinliğini artıracaktır.

KAYNAKÇA

Altekin S, 2014. Vicarious traumatization: An investigation of the effects of trauma work on mental health professionals in turkey. Unpublished doctoral thesis). Boğaziçi University/School of Social Sciences, İstanbul.

Arvay MJ, Uhlemann MR, 1996. Counsellor stress in the field of trauma: A preliminary study. Canadian Journal of Counselling.

Beck CT, 2011. Secondary traumatic stress in nurses: A systematic review. Archives of psychiatric nursing, 25, 1, 1-10.

Birinci GG, Erden G, 2016. Yardım Çalışanlarında Üstlenilmiş Travma, İkincil Travmatik Stres ve Tükenmişliğin Değerlendirilmesi. Turkish Journal of Psychology/Turk Psikoloji Dergisi, 31, 77.

Bride BE, Figley C, 2012. Secondary traumatic stress. Encyclopedia of trauma: An interdisciplinary guide, 600-2.

Büyükbayram A, Çam O, Turgut EÖ, 2016. Travma sonrasında ruh sağlığı ve hastalıkları hemşireliği yaklaşımı. Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 19, 3.

Clark ML, Gioro S, 1998. Nurses, indirect trauma, and prevention. Image: The Journal of Nursing Scholarship, 30, 1, 85-7.

Cr F, 1995. Compassion fatigue as secondary traumatic stress disorder-An overview. Compassion Fatigue.

Doğan A, Keskin G, Dönmez A, 2021. AFET YARDIM ÇALIŞANLARINDA SEKONDER TRAVMA. Hastane Öncesi Dergisi, 6, 3, 421-32.

Eroğlu BS, Arıkan S, 2016. Acil yardım çalışanlarında travma, tükenmişlik ve yaşam doyumu ilişkilerinde stresle başa çıkmanın moderatörlük rolü. Türk Psikoloji Dergisi, 31, 78, 45-57.

Figley CR, 1995. Compassion fatigue: Toward a new understanding of the costs of caring.

Figley CR, 2013. Compassion fatigue: Coping with secondary traumatic stress disorder in those who treat the traumatized, Routledge, p.

Freudenberger HJ, 1974. Staff burn-out. Journal of social issues, 30, 1, 159-65.

Gülirmak Güler K, Uzun S, Emirza EG, 2025. Secondary Traumatic Stress and Coping Experiences in Psychiatric Nurses Caring for Trauma Victims: A Phenomenological Study. Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing, 32, 2, 402-13.

Gürkan A, Yalçıner N, 2017. Sağlık Çalışanlarında İkincil Travmatik Stres.

Isobel S, Thomas M, 2022. Vicarious trauma and nursing: An integrative review. International Journal of Mental Health Nursing, 31, 2, 247-59.

Jahner S, Penz K, Stewart NJ, 2019. Psychological impact of traumatic events in rural nursing practice: An Integrative review. Online Journal of Rural Nursing and Health Care, 105-35.

Jimenez RR, Andersen S, Song H, Townsend C, 2021. Vicarious trauma in mental health care providers. Journal of Interprofessional Education & Practice, 24, 100451.

Joinson C, 1992. Coping with compassion fatigue. Nursing, 22, 4, 116, 8-9, 20.

Kadambi MA, Ennis L, 2004. Reconsidering vicarious trauma: A review of the literature and its' limitations. Journal of trauma practice, 3, 2, 1-21.

Kahil A, Palabıyıkoğlu NR, 2018. İkincil travmatik stres. Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar, 10, 1, 59-70.

Kounenou K, Kalamatianos A, Nikoltsiou P, Kourmousi N, 2023. The interplay among empathy, vicarious trauma, and burnout in Greek mental health practitioners. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20, 4, 3503.

Maier SL, 2011. The emotional challenges faced by sexual assault nurse examiners:“ER nursing is stressful on a good day without rape victims”. Journal of forensic nursing, 7, 4, 161-72.

Maslach C, 1998. A multidimensional theory of burnout. Theories of organizational stress, 68, 85, 16.

Maslach C, 2003. Burnout: The cost of caring, Ishk, p.

McCann IL, Pearlman LA, 1990. Vicarious traumatization: A framework for understanding the psychological effects of working with victims. Journal of traumatic stress, 3, 131-49.

Özkul M, Var EÇ, 2018. İkincil travmatik stres ve sosyal destek ilişkisinin değerlendirilmesi. Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 1, 2, 49-62.

Pearlman LA, Saakvitne KW, 1995. Trauma and the therapist: Countertransference and vicarious traumatization in psychotherapy with incest survivors, WW Norton & Company, p.

Raunick CB, Lindell DF, Morris DL, Backman T, 2015. Vicarious trauma among sexual assault nurse examiners. Journal of forensic nursing, 11, 3, 123-8.

Tabor PD, 2011. Vicarious traumatization: Concept analysis. Journal of Forensic Nursing, 7, 4, 203-8.

Var EÇ, Büyükbodur AÇ, 2017. Secondary traumatic stress in social workers Sosyal hizmet uzmanlarında ikincil travmatik stres. Journal of Human Sciences, 14, 4, 3676-89.

Varan D, Demirel Ç, 2024. Travmanın Dolaylı Etkisi: İkincil Travmatik Stres Üzerine Bir Derleme. İstanbul Kent Üniversitesi İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi, 4, 2, 71-86.

Wies JR, Coy K, 2013. Measuring violence: Vicarious trauma among sexual assault nurse examiners. Human Organization, 72, 1, 23-30.

Wilson JP, Lindy JD, 1994. Empathic strain and countertransference.

Yanbolluoğlu Ö, 2019. İKİNCİL TRAVMATİK STRESİN MESLEK ELEMANLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: BİR DERLEME ÇALIŞMASI. Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20, 36, 141-64.

Yıldırım, 2023. Afetlerde ikincil travmatik stres ve psikiyatri hemşireliği yaklaşımları. Turkiye Klinikleri Psychiatric Nursing-Special Topics, 9, 1, 22-7.

Yilmaz B, Sahin NH, 2007. Arama-kurtarma çalisanlarinda travma sonrasi stres belirtileri ve travma sonrasi büyüme. Türk Psikoloji Dergisi, 22, 59, 119.

Yılmaz T, Bekaroğlu ET, 2025. Secondary Traumatic Stress in Mental Health Professionals. Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar, 17, 1, 140-6.

Zara A, İçöz FJ, 2015. Türkiye'de ruh sağlığı alanında travma mağdurlarıyla çalışanlarda ikincil travmatik stres. Klinik Psikiyatri, 18, 1, 15-23.

FİZİKSEL AKTİVİTE TEMELLİ MÜDAHALELERİN RUH SAĞLIĞI HASTALARINDA KAYGI VE STRES ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

EFFECTS OF PHYSICAL ACTIVITY-BASED INTERVENTIONS ON ANXIETY AND STRESS IN MENTAL HEALTH PATIENTS

Beyza KAYA

Graduate Student, Selcuk University, Institute of Health Sciences, Department of Psychiatric Nursing

beyzaakaya01@gmail.com -0009-0007-7359-3774

Neslihan LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Nursing, Department of Psychiatric Nursing

neslihanlok1@gmail.com - 0000-0003-1568-9659

Sefa LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Sports Sciences, Department of Coach Education, sefalok@selcuk.edu.tr , ORCID: 0000-0001-9632-2888

ÖZET

Fiziksel aktiviteler bireyler üzerinde yadsınmaz şekilde önemi mevcuttur. Aktivitenin bireyi hem bedensel hem ruhsal yönden sağlıklı şekilde yaşaması için devamı gereklidir. Bilimsel ve uygulamalı bilgilerin hepsini kapsamalıdır. Müdahaleler sadece bireysel değil toplumsal, gruplar halinde de olmaktadır. Fiziksel aktivitenin temel bileşenleri ve ilkeleri mevcuttur. Yapılan aktivitenin görülür şekilde pozitif yönde etkisi için bu ilkelere ve bilgilere sahip olunmalıdır. Birçok egzersiz türü mevcut ve bireye özgü olarak seçilmelidir. Egzersizin bilindiği üzere sağlık üzerinde pek çok olumlu etkisi vardır. Fiziksel sağlığın yanında ruh sağlığı açısından da önemi büyüktür. Özellikle kaygı ve stresin azalması yönünde bireylere rahatlama sağlamaktadır. Kaygı ve stresi düşürerek bir çeşit baş etme mekanizması geliştirip odaklanmayı arttırır, bireyin kendine olan güveni artmaktadır. Grupla yapılan aktiviteler sosyal çevre açısından ayrıca olumlu gelişime katkı sağlamaktadır. Hasta olan bireyler tedaviye bakış açısını değiştirerek adaptasyon sürecini artırmaktadır. Bundan dolayı kaygı ve stresi olan bireylerde fiziksel aktivitelerin önemli etkileri mevcuttur. Psikiyatri hemşireleri bireydeki stres ve kaygı belirtilerinin farkında olmalı bireye özgü bakım planlamalıdır. Bireyin yaşam kalitesini arttırıcı özellikleri de olduğu için psikiyatri hemşireleri bireyi holistik bir şekilde değerlendirmeye almalıdır. Bu seminerde de fiziksel aktivitenin ne olduğu, bileşenlerini, türlerini, kaygı, stres ve ruhsal sağlık üzerindeki etkisi, psikiyatri hemşirelerinin yapması gereken uygulamalar incelenecektir.

Anahtar Kelimeler : Fiziksel aktivite, Kaygı, Ruh sağlığı, Stres

ABSTRACT

Physical activities have an undeniable importance on individuals. The activity must be continued for the individual to live a healthy life both physically and mentally. It should cover all scientific and applied information. Interventions are not only individual but also social and in groups. There are basic components and principles of physical activity. These principles and information should be possessed for the activity to have a visible positive effect. There are many types of exercise and the one specific to the individual should be selected. As is known, exercise has many positive effects on health. In addition to physical health, it is also important in terms of mental health. It provides relaxation to individuals, especially in terms of reducing anxiety and stress. By reducing anxiety and stress, it develops a kind of coping mechanism and increases focus, and the individual's self-confidence increases. Activities done with groups also contribute to positive development in terms of the social environment. Sick individuals change their perspective on treatment and increase the adaptation process. Therefore, physical activities have important effects on individuals with anxiety and stress. Psychiatric nurses should be aware of the stress and anxiety symptoms in the individual and plan individual-specific care. Since it also has features that increase the individual's quality of life, psychiatric nurses should evaluate the individual in a holistic way. In this seminar, what physical activity is, its components, types, anxiety, stress and its effects on mental health, and the practices that psychiatric nurses should do will be examined.

Keywords: Physical activity, Anxiety, Mental health, Stress

1.GİRİŞ

İnsanlar duygu, düşünce, kültürel tutum, özgeçmiş vb. olaylardan olumlu ve olumsuz tarafa davranış sergileyebilirler. Stres ve kaygı dış veya iç çevreden gelen uyaranla huzursuzluk hali hissedilmesidir. Kaygı ve stres belli kaynak olup olmama durumundan dolayı farklılaşmaktadır. Fiziksel aktivite temelli müdahaleler ise stres ve kaygının olumlu taraflarını göstererek ruhsal bir rahatlama yaşatmaktadır. Bundan dolayı psikiyatri hemşireleri bakım verme ve planlama süreçlerine bireye uygun aktiviteleri dahil etmelidir.

2.KAYGI VE STRES

Stresin birçok tanımı vardır (Köse, 2013). Stres kavram olarak çok eski yıllarda felaket, dert, baskı, zor gibi anlamlar yüklenerek ifade edilmiştir (Öncel ve Yılmaz, 2023). Stresi genel olarak tanımlayacak olursak hayatın her alanında karşılaşılan ya da sosyal çevreden gelen baskı sonucunda zorlanma ve sıkıntı çekmektir denilebilinir (Kaba, 2019). Kendi kendine ya da bir anda oluşan bir durum değildir (Güçlü, 2001). Oluşması için dışsal veya içsel anlamlarına yönelik etken olmalıdır (Öncel ve Yılmaz, 2023). Yaşanılan durum olumsuz gözüküyor olsa da olumlu olan tarafa da sahiptir (Köse, 2013). Birey kendinde stresle baş etme yolları geliştirerek kendine optimum düzeyde katkıda bulunabilir (Kaba, 2019). Belirtileri arasında fiziksel, duygusal, psikolojik, sosyal olarak ayırabiliriz (Güçlü, 2001). Bunlar; gerginleşme, fazla sinirlilik hali,

saldırganlık, alınganlık, taşikardi, uykusuzluk, halsizlik, tremor, güvensizlik, konsantrasyon eksikliği, çok fazla savunmacı tutum davranışı gibi pek çok belirtisi vardır (Kaba, 2019, Öncel ve Yılmaz, 2023). Kaygı ise temelinde gerçek olmayan olaylara anlam yükleyerek ortaya çıkar ve stresten farklarından biri de budur, belli bir kaynağa sahip değildir (Manav, 2011). Hafif ve orta düzeydeki kaygı daha çok öğrenmeye yönelik ve hayatta kalabilmek için gerekli olan doğal bir tepkidir ama şiddetli kaygı ve panik atak durumu tıbbı müdahaleyi gerektirmeye kadar bireyi ileri düzeye taşıyabilir (Öncel ve Yılmaz, 2023). Endişenin belirsiz hissettirmesi, çarpıntı, daralma, hoşnutsuzluk, huzursuzluk, mide rahatsızlığı gibi belirtileri beraberinde getirmektedir (Özakkaş, 2014). Duygular daha çok bireyin kendi düşüncelerinden kaynaklanır (Öncel ve Yılmaz, 2023). Bireylerin kültür, inanç, algılama, toplumsal yapı, çevresi gibi birçok faktör kaygıyı etkileyip farklı şekillerde önümüze getirmektedir (Manav, 2011, Öncel ve Yılmaz, 2023). Kaygı ve stresle baş etme yollarından biri olan fiziksel aktivitelerde bireyde rahatlama gibi olumlu etkileri mevcuttur (Efe ve Keyvan, 2021 , Kaba, 2019).

3.FİZİKSEL AKTİVİTENİN PSİKOLOJİK ETKİLERİ

Fiziksel aktivite enerji harcayarak vücudumuzun hareketli olmasıdır (Bayrakçı Tunay, 2008). Fiziksel aktivite ile ilgili kalıntı ve bilgiler çok uzun, eski yıllara dayanmaktadır (Bulut, 2013). Fiziksel aktiviteler her yaşa özgü yapılmaktadır (Meydanlıoğlu, 2015). Ruhsal hastalıklardan stres ve kaygı her yaş döneminde ayrıca görülebileceği gibi fiziksel aktivitelerde dönem ve yaşa uygun yapılmalıdır (Öncel ve Yılmaz, 2023). Aktiviteler spor salonları, parkta, evde kişinin tercih ettiği ve uygunluğuna göre tercih edilmektedir (Bayrakçı Tunay, 2008). Psikolojide iyi oluş ve yaşam memnuniyeti birey için karşılaştığı olaylarla başa çıkabilmesi, kendini iyi hissetme, belli bir doyuma ulaşması açısından önemli kavramlardır (Yüceant, 2023). Günlük düzenli olarak yapılan ve bireye uygulanan aktivitelerde stres başta olmak üzere psikososyal ve fiziksel açıdan çok fazla olumlu etkiye sahiptir (Bayrakçı Tunay, 2008, Yüceant, 2023). Özellikle ergen ruh sağlığı açısından aktivitelerin önemli bir yeri vardır (Meydanlıoğlu, 2015). Düzenli olarak yapıldıkça kardiyovasküler hastalıkları önlemede, obeziteyi azaltmada, solunum fonksiyonlarını düzenlemede ve sayılabilecek çok çeşitli fiziksel açıdan yararı mevcuttur (Bayrakçı Tunay, 2008). Psikososyal yönden bireye kendini iyi hissetme, olumlu düşünebilme, sosyal çevrede adaptasyon sürecinin gelişmesi, kaygıyı azaltma, yaşam kalitesini arttırma ve zihinsel sağlığın gelişimi için birçok etkisi vardır (Bulut, 2013, Meydanlıoğlu, 2015).

4.FİZİKSEL AKTİVİTE TEMELLİ MÜDAHELELER

Bireyin psikososyal yönden gelişimi için yapılandırılmış planlı ve düzenli uygulanan hareketlerdir (Bayrakçı Tunay, 2008). Bu müdahaleler;

1-Aerobik Egzersizler: Daha çok kardiyo temeline dayanır (Yıldız, 2012). Yürüyüş, koşu, bisiklete binme, yüzme, zumba, dans, step-aerobik egzersizleri kapsamaktadır (Bayrakçı Tunay, 2008).

2- Düşük Yoğunluklu Egzersizler: Stres ve kaygı sorunlarını azaltır ve gidermede yardımcı olur (Bayrakçı Tunay, 2008). Yoga, tai chi, pilates bu gruba dahildir (Köyüstü ve Kırık, 2021). Esneklik kazanma ve kas kuvveti içinde ayrıca önem sahip egzersizler arasındadır (Kızılay, 2024). Postür gelişimi açısından da ayrıca tercih edilmelidir (Ceviz,2023).

3-Zihin ve Beden Egzersizleri: Mindfulness (bilinçli farkındalık), mediatif yürüyüşler (Bayrakçı Tunay, 2008). Daha çok gevşeme ve duygu durumu düzenleme amaçlıdır (Akkaya ve Akkaya, 2022). Stres, ağrı, kaygı ve birçok ruhsal hastalıkta kullanılmaktadır (Akkaya ve Akkaya, 2022).

4-Direnç/Kuvvet Egzersizleri: Vücut ağırlığı ile yapılan egzersizler kategorisindedir (Bayrakçı Tunay, 2008). Özellikle kaygı azaltımı, özsaygıda artış, bedensel olarak güçlü hissetme mevcuttur (Özakkaş, 2014).

5.Fonksiyonel Egzersizler ve Günlük Aktivite Tabanlı Egzersizler: Günlük yapılan ev işi, bahçe işi, grup yürüyüş ve koşuları, hayvan gezdirirken ki yürüyüşler olarak kategoriye alınır (Bayrakçı Tunay, 2008).

5.Psikiyatri Hemşiresi Uygulamaları

Kaygı ve stres anlaşılmadıkça profesyonel bir yaklaşımda zorlaşır (Öncel ve Yılmaz, 2023). Bundan dolayı yapılacak ilk aşama bireyi detaylı bir şekilde değerlendirmektir (Yüksel, 2014). Bireyi holistik bir şekilde değerlendirmeye almak gerekir çünkü birey çevresi, ailesi ile bir bütündür (Korkut Bayındır ve Biçer, 2019). Bireyin kaygı veya stres düzeyini iyi değerlendirmek gereklidir (Townsend, 2016). Bireye sakin, empatik ve güvenilir bir yaklaşımla konuşulmalıdır (Öncel ve Yılmaz, 2023). Psikoeğitim, terapi vb. yapılan eğitimler ilaç tedavisinin yanında bireye katkı sağlamaktadır bundan dolayı bireye uygun ve yetkinlik kazanmış uzman kişi tarafından doğru şekilde terapi ve eğitimlere katılabilirler (Gezgin, Çam ve Karademir, 2010). Bireyi rahatlatan eşya, müzik, resim gibi obje ve dinletiler getirilir. Fiziksel aktivitelerin stres ve kaygı üzerindeki rahatlatıcı etkisinden dolayı bireye uygun olan egzersiz türü seçilerek düzenli bir şekilde uygulanması sağlanır (Öncel ve Yılmaz, 2023). Çocuklar için futbol ve basketbol gibi spor oynatmak, kayak yapmak, asansör yerine merdiven kullandırmak, bisiklete binmesini sağlamak, okul gezilerine katılmasını sağlamak gibi aktiviteleri önerebilir (Meydanlıoğlu, 2015). Egzersizler bireyin sıkılmadan ve fiziksel durumu da göz önünde bulundurarak uygulanmalı örneğin dans etmeyi seviyorsa dans edebilir sakin yürüyüşler kaygısını azaltıyorsa yürüyüş yapabilir (Yüksel, 2014). Bireyde seçilen bakım planında uygulama ve değerlendirme aşamaları da önemlidir (Townsend, 2016). Bireyi ne kadar yarar sağladığı, bireyde oluşturulan baş etme mekanizmaları, bireyin kaygı ve stresteki tepkileri detaylı bir şekilde incelenmelidir (Öncel ve Yılmaz, 2023).

6.Kanıta Dayalı Uygulamalar

Düzenli Fiziksel Aktivitenin Stres, Kaygı, Depresyon Ve Psikolojik İyi Oluş Üzerine Etkisi adlı yarı deneysel çalışmada Yüceant 2023, sedanter bireylerin 8 haftalık fiziksel aktivite

programının stres, kaygı, depresyon, yaşam memnuniyeti ve psikolojik iyi oluş üzerindeki etkisine bakılmıştır. Sonuç olarak deney grubunda bakılan rahatsızlıklarda olumlu yönde gelişme ve iyileşme olmuştur (Yüceant, 2023). Physical Activity and Depression and Anxiety Disorders: A Systematic Review adlı derlemede, fiziksel aktivitenin depresyon ve anksiyete bozuklukları üzerindeki etkilerine bakan diğer çalışmaları incelemiştir. Sonuç olarak düzenli fiziksel aktivitenin baktığı bozuklukların görülme riskini azalttığını ve belirtilerin şiddetini azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar, fiziksel aktivitenin ruh sağlığı üzerindeki koruyucu etkilerini iyi yönde göstermektedir (Wanjau et al., 2023). Effectiveness of Physical Activity Interventions for Improving Depression, Anxiety and Psychological Distress adlı çalışmada, fiziksel aktivite temelli müdahalelerinin depresyon, anksiyete ve psikolojik sıkıntı üzerindeki etkisine bakılmıştır. Sonuçta, fiziksel aktivitenin bu bakılan değişkenleri olumlu yönde iyileştirmede etkili olduğunu ve ruh sağlığını geliştirdiğini vurgulamıştır (Singh et al., 2023).

7.SONUÇ

Bu derlemede incelenen fiziksel aktivite temelli müdahalelerin birçok ruhsal bozukluk, fiziksel ve biyolojik olarak da olumlu gelişme de yer aldığı ve özellikle kaygı, stres üzerinde önemli yer edindiği yapılan çalışmalarda da gösterilmiştir. Yapılan aktivitelerin bireyin yaşına, durumuna, hastalığına uygun olarak seçilmelidir. Psikiyatri hemşireleri bireye stres ve kaygı durumda yardım etmeli onlara uygun bir bakım planı hazırlayarak süreç yönetmelidir. Stres ve kaygıdan zarar veya yarar görmek bireyin algılama ve tutumuna bağlıdır. Bundan dolayı etkili baş etme mekanizması geliştirmek, bireye destek ve yardımcı olmak bu süreçte önem kazanmaktadır. Yapılan aktivitelerin önemini bireyin kavraması gerekli ve düzenli şekilde devam ettirmelidir.

8.KAYNAKÇA

Akkaya, R. & Akkaya, B. (Ed.), *Kronik Ağrı Yönetiminde Mindfulness*, 1. Baskı, Bilgin Kültür Sanat Yayınları, Ankara, 2022.

Bayrakçı Tunay, V., *Yetişkinlerde Fiziksel Aktivite*, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 2008.

Bulut, S., Sağlıkta Sosyal Bir Belirleyici; Fiziksel Aktivite, *Turk Hij. Den. Biyol. Derg.*, 2013; 70(4): 205–214.

Ceviz, E., Bölüm 6: Pilates Temelli Egzersizler ve Yararları, Bingöl Üniversitesi, Antrenörlük Eğitimi Bölümü, Antrenörlük ABD,2023.

Efe, F. ve Keyvan, A., Kaygı, Depresyon ve Travma Sonrası Stres Bozukluğunda Yoganın Etkililiği: Bir Gözden Geçirme, *Uluslararası Egzersiz Psikolojisi Dergisi*, 2021; 3(1): 1–11.

Gezgin, H., Çam, O. ve Karademir, M., Yaygın Anksiyete Bozukluğu Tanılı Bireylere Verilen Psikoeğitimin Tedavideki Etkinliğinin İncelenmesi, *Klinik Psikiyatri*, 2010; 13: 65–76.

Güçlü, N., Stres Yönetimi, *G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 2001; 21(1): 91–109.

Kaba, İ., Stres, Ruh Sağlığı ve Stres Yönetimi: Güncel Bir Gözden Geçirme, *Akademik Bakış Dergisi*, Sayı: 73, Mayıs–Haziran 2019.

Kızılay, E., Yaşlı Bireylerde Fiziksel Aktivite, *Sağlık ve Bilim: Fizyoterapi ve Rehabilitasyon - II*, Egemen Kızılay Malatya EAH, 2024.

Köse, H., Örgütlerde Stres Kaynakları ve Stres Yönetimi, *ABMYO Dergisi*, 2013; 29–30: 37–44.

Korkut Bayındır, S. ve Biçer, S., Holistik Hemşirelik Bakımı, *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 2019; 4(1): 25–29.

Köyüstü, S. ve Kırık, A. M., Yogaya Genel Bir Bakış ve Yoga–Sağlık İlişkisi, *21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum*, 2021; 10(28): 123–139.

Manav, F., Kaygı Kavramı, *Toplum Bilimleri Dergisi*, 2011; 5(9): 201–211.

Meydanlıoğlu, A., Çocuklarda Fiziksel Aktivitenin Biyopsikososyal Yararları, *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 2015; 7(2): 125–135.

Öncel, S. & Yılmaz, M. (Ed.), *Hemşirelikte Temel Kavramlar*, Akademisyen Kitapevi, Ankara, 2023, s. 235–250; 337–400.

Özakkas, T., *Anksiyete Bozuklukları ve Tedavisi*, Psikoterapi Enstitüsü Eğitim Yayınları No:2, 2014.

Özbek, K., Çakı, M. ve Ay, N., Pişmiş Toprak Bünyelerde CaO ve Fe_2O_3'ün Etkileri, *1. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu Bildiri Kitabı*, s. 86–87, Eskişehir, 2001.

Singh, B., Olds, T., Curtis, R., Dumuid, D., Virgara, R., Watson, A. ve Maher, C., Effectiveness of Physical Activity Interventions for Improving Depression, Anxiety and Distress: An Overview of Systematic Reviews, *Br. J. Sports Med.*, 2023; 57(18): 1203–1209.

Townsend, M.C., *Ruh Sağlığı ve Psikiyatri Hemşireliğinin Temelleri: Kanıta Dayalı Uygulama Bakım Kavramları*, Çev. Ed. Özcan, C.T. & Gürhan, N., Akademisyen Tıp Kitapevi, Ankara, 2016, s. 460–490.

Wanjau, M. N., Möller, H., Haigh, F., Milat, A., Hayek, R., Lucas, P. & Veerman, J.L., Physical Activity and Depression and Anxiety Disorders: A Systematic Review of Reviews and Assessment of Causality, *AJPM Focus*, 2023; 2(2): 100074.

Yıldız, S. A., Aerobik ve Anaerobik Kapasitenin Anlamı Nedir?, *Solunum*, 2012; 14: 1–8.

Yüceant, M., Düzenli Fiziksel Aktivitenin Stres, Kaygı, Depresyon, Yaşam Memnuniyeti, Psikolojik İyi Oluş ve Pozitif–Negatif Duygu Üzerine Etkisi, *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 2023; 6(2): 581–598.

Yüksel, N. (Ed.), *Ruhsal Hastalıklar*, Akademisyen Tıp Kitapevi, Ankara, 2014.

MADDE BAĞIMLILIĞI TEDAVİSİNDE FİZİKSEL AKTİVİTENİN KULLANIMI VE TERAPÖTİK YAKLAŞIMLAR

USE OF PHYSICAL ACTIVITY AND THERAPEUTIC APPROACHES IN SUBSTANCE ADDICTION TREATMENT

Beyza KAYA

Graduate Student, Selcuk University, Institute of Health Sciences, Department of Psychiatric Nursing

beyzaakaya01@gmail.com -0009-0007-7359-3774

Neslihan LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Nursing, Department of Psychiatric Nursing

neslihanlok1@gmail.com - 0000-0003-1568-9659

Sefa LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Sports Sciences, Department of Coach Education,

sefalok@selcuk.edu.tr , ORCID: 0000-0001-9632-2888

ÖZET

Fiziksel aktiviteler terapötik yaklaşım olarak değerlendirmeye alınır. Bağımlılıkla ilgili belirtileri azaltmada, bireyin tedaviye adaptasyonunu sağlamada, tekrarlama riskini azaltmada etkilidir. Biyolojik ve psikolojik yönden etkileri ayrıca mevcuttur. Fiziksel aktivite türlerinin farklı çeşitleri vardır ve hepsi çeşitli olarak psikolojik ve biyolojik yönden farklı türde olumlu etkileri mevcut. Bireysel ve grup olarak yapılan yaklaşımların bireyin hem bedenen hem de psikososyal yönden gelişmesine katkı sağlamaktadır. Terapötik yaklaşımlar psikolojide, psikiyatride ve hemşirelik alanlarında kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar bireye özgü, ruhsal durumuna, algısal değişimine, veren kişinin eğitim ve yeterlilik düzeyine göre değişmektedir. Birçok yaklaşım türü vardır bunlardan birkaçı motivasyonel görüşme, davranışçı terapiler, mindfulness temelli yaklaşımlar, psikoeğitim, grup terapileri vb. şekilde çeşitli örnekler verilir. Bu derlemede madde bağımlılığı etkileri, tedavisindeki fiziksel aktivite kullanımı ve terapötik yaklaşım türleri ve açıklamalarını incelenecektir.

Anahtar Kelimeler : Fiziksel Aktivite, Madde Bağımlılığı, Terapötik Yaklaşımlar

ABSTRACT

Physical activities can be evaluated as a therapeutic approach. It is effective in reducing symptoms related to addiction, ensuring the individual's adaptation to treatment, and reducing the risk of

relapse. It also has biological and psychological effects. There are different types of physical activities and all of them have different types of positive effects in terms of psychology and biology. Individual and group approaches contribute to the development of the individual both physically and psychosocially. Therapeutic approaches are used in psychology, psychiatry, and nursing. These approaches vary according to the individual's specific mental state, perceptual change, and the education and competence level of the person who gives them. There are many types of approaches, some of which are motivational interviewing, behavioral therapies, mindfulness-based approaches, psychoeducation, group therapies, etc. and various examples are given. In this seminar, we will examine the effects of substance addiction, the use of physical activity in treatment, and therapeutic approach types and explanations.

Keywords: Physical Activity, Substance Addiction, Therapeutic Approaches

GİRİŞ

Maddelerin büyük bir kısmı tıbbi olarak üretilip kullanılmaktadır. Madde kullanımı büyük oranla, bağımlılık yaparak fiziksel ve psikososyal yönden bireyi etkileyecek şekilde kötü kullanım da içermektedir. Madde bağımlılığı bireyin sosyal, kültürel, iş yaşantısı gibi birçok alanını etkilemektedir. Bağımlılık tedavisinde tıbbi öncelikli olarak birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan biri olan tıbbi tedavinin yanına ek olarak yapılan egzersiz ve terapötik müdahalelerdir. Bu derlemede madde bağımlılığı tedavisinde fiziksel aktivitenin kullanımı ve terapötik yaklaşımlar incelenecektir.

MADDE KULLANIM BOZUKLUĞU

Alkol, kanabis, halüsinojenler, inhalanlar, opioidler, sedatifler, tütün ve stimülanları içine alan bağımlılık yapıp, bu maddelerin kullanımıyla beyinde değişikliğe yol açarak bozukluk meydana getirmesidir (Townsend, 2016, Bahadır, Güneş ve Noyan, 2019). Maddenin kötüye kullanılmasıyla, bireyin sosyal yaşantısındaki rollerini yerine getirememesi ve en önemli sorunlar arasında olan bireyde yeti yitimine sebep olur (Kaya, 2014). Birey maddeyi kullandıkça beyin hastalığına dönüşen ve sürekli olarak maddeyi istemesiyle devam eden bir döngüye girer (Kargın ve Hiçdurmaz, 2018). Birey maddeyi kesmeye çalışır fakat başaramaz aksine daha fazla madde kullanımı artar (Güleç, Köşger ve Eşsizoğlu, 2015). Birey kendini çevreden izole eder (Kargın ve Hiçdurmaz, 2018). Etiyolojisine bakıldığında genetik, biyokimyasal, gelişimsel etkiler, kişilik faktörleri, sosyal öğrenme, koşullanma, kültürel ve etnik etkiler olarak sıralanabilir (Yüksel, 2014, Townsend, 2016, Bahadır, Güneş ve Noyan, 2019). Madde intoksikasyonu, bağımlılığı ve yoksunluğu olarak yol açtığı durumlar mevcuttur (Yüksel, 2014). Bağımlılık, kullanan kişinin sosyal işlevini bozacak şekilde fazlaca madde alması ve bu isteğe hayır diyememe durumudur (Şimşek, 2010). Birey maddeyi kullanamadığında fiziksel ve psikolojik/ruhsal belirtiler gösteren, tedavi yapılan fakat tekrar kullanıldığında tekrarlayan bir hastalıktır (Karakaş ve Ersöğütçü, 2016). İntoksikasyon, diğer adıyla zehirlenme de denilir (Yüksel, 2014). Aşırı kullanımı sonucu reversible belirtilerin ilerlemesidir (Townsend, 2016). Belirtiler maddeye özgüdür ve maddeyi

kullanırken ya da kullandıktan sonra ortaya çıkabilir (Yüksel, 2014). Yoksunluk, maddenin azaltılması ya da kesilmesinden sonra kullanılan maddeye göre problemlerin ortaya çıkmasıdır (Townsend, 2016). Bütün bu kavramlar veya madde kullanımda birçok davranışsal, psikolojik olarak belirtiler mevcuttur (Kargın ve Hiçdurmaz, 2018). Bireyde saldırgan davranışlar, zayıf bellek, konuşma ve dil gecikmesi, dikkatsizlik, zihinsel engel, duyu problemi, uyku hali, baş dönmesi gibi çeşitli, belirtiler sayılabilir ve kullanılan maddeye göre belirtiler değişiklik göstermektedir (Yüksel, 2014, Townsend, 2016).

MADDE KULLANIM BOZUKLUĞUNUN RUH SAĞLIĞINA ETKİSİ

Madde kullanan bireylerde fiziksel ve ruhsal problemler ortaya çıkmaktadır (Townsend, 2016). Bireyin aktivitesinde problemler, az beslenme, öz bakım yetersizliği, cinsellikte azalma, enfeksiyon ve birçok şey fiziksel olarak sayılır (Şimşek, 2010, Yüksel, 2014). Ruhsal ve psikolojik olarak bireyde anksiyete, etkisiz baş etme, iletişimsizlik, benlik saygısında azalma, umutsuzluk, sıkıntı çekme, uyku bozukluğu, deliryum, demans vb. etkileri mevcuttur (Şimşek, 2010, Güleç, Köşger ve Eşsizoğlu, 2015, Kargın ve Hiçdurmaz, 2018). Bireyi iyi değerlendirmek ve ona etkin olacak plan geliştirmek önemlidir (Townsend, 2016).

FİZİKSEL AKTİVİTENİN BAĞIMLILIKTAKİ TERAPÖTİK ROLÜ

Fiziksel aktivite bireyi holistik olarak değerlendirmemizde yardımcı olur (Çetin, 2024). Sağlıklı olma durumu sadece fiziksel değil sosyal ve ruhsal yönden de iyi olma halidir (Bay & Yılmaz, 2020). Düzenli yapılan aktivite bireyde sağlıklı yaşlanma ve yaşam kalitesi için önemlidir (Çabuk ve ark., 2020). Bağımlılıkta düzenli yapılan fiziksel aktivite tek başına tedavi olmasa da geliştirici, destekleyici ve tamamlayan bir girişimdir (Kurtoğlu, 2022). Aktivitenin hastalığı koruyucu etkisi mevcuttur (Townsend, 2016). Fiziksel aktivite psikolojik ve ruhsal yönden bireyde anksiyete, stres, depresyon, kaygı azaltımı ve kendini bakımının artması, sağlıklı bir hayat tarzı, yalnızlık başa çıkma yolları geliştirmeyi, iyi olma durumu, bilişsel durumda artış, duygusal anlamda pozitif yönde etkilerini etkin kılar (Kurtoğlu, 2022, Acar, Yakşi ve Yanardağ, 2025). Aktiviteleri aerobik egzersizler, güç egzersizleri, esneklik egzersizleri vb. örnekler kapsamaktadır (Çetin, 2024). Yüzme, yürüyüş, bisiklete binme, kardiyo, dans, ev işleri gibi küçük aktiviteler dahi psikolojik açıdan bireye içsel sıkıntıda, işlevsel bunalım halinde iyi gelmektedir (Bay & Yılmaz, 2020). Bunda dolayı fiziksel aktiviteleri sadece kardiyovasküler veya fiziksel açıdan ele alınmamalıdır (Çetin, 2024). Bireye fiziksel aktivite uygularken uzman tarafından bireye özgü duygudurumu, davranışı ile ele alınarak düzenli bir şekilde planlanmalıdır (Yüksel, 2014, Bay & Yılmaz, 2020).

UYGULAMALI MÜDAHALE MODELLERİ

Çeşitli uygulama müdahale yaklaşım türleri mevcuttur (Yüksel, 2014). Bunlardan bağımlılıkta kullanılan etkili uygulamalardan biri olan motivasyonel görüşmedir (Cıbır, 2022). Motivasyonel görüşme bireyin problemlerini algılaması, kendini değiştirmek için harekete geçmesini sağlayan bir yöntemdir (Ögel, 2009). İçsel becerilerini ortaya çıkarıp, direkt çözüm bazlı bakar (Townsend,

2016). Kısa süreli ve kişide bağımlılıkla mücadele önemli bir etkendir (Ögel, 2009). İlkelerinde geçen empati, zıtlıkların ortaya çıkarılması, zorlukla mücadele, öz yeterlilik alanlarına dikkat edilmelidir (Ögel, 2009, Cıbır, 2022). Psikoeğitim programlarında ise daha çok eğitim içerikli olup bireyin öğrenmesini, amacına ulaşmasını ve gelişmesini hedefler (Güçray, Çekici ve Çolakkadıoğlu, 2009). Birçok program türü bulunmaktadır bunlardan bazıları: ‘‘Sosyal Aktiviteler Projesi, Akran Desteği Projesi, Türkiye Bağımlılıkla Mücadele Eğitim Projesi’’ gibi yurtdışında da çeşitli örnekleri olan bağımlılıkta yürütülen projeler mevcuttur (Yoldaş ve Demircioğlu, 2020). Programlarda belirli yetenekleri öne çıkarmak ve problemleri nasıl çözebileceği hakkında bireye eğitim verilir (Güçray, Çekici ve Çolakkadıoğlu, 2009). Mindfulness temelli yaklaşım diğer adıyla farkındalık terapisidir (Şen, Danış ve Kutlu, 2025). Bireyin durumun farkında olup anda kalıp kendini yargılamamasıdır yani stres, keder gibi duyguları serbest bırakıp durumu kabullenmektir (Uzun ve Kral, 2021). Müdahalenin yapılması için birey aynı zamanda diğerlerinde de olduğu gibi tıbbı tedavisini tamamlamış olmalıdır (Yüksel, 2014). Birey bağımlılıkta arzularının farkına varıp bunu yargılamadan durumu kabullenip deneyimlemeyi öğrenir (Şen, Danış ve Kutlu, 2025).

GÜNCEL ÇALIŞMALAR

Yapılan derlemede, fiziksel aktivitenin madde kullanım bozukluğuna ruhsal iyilik hali ve kaliteli yaşam üzerinde bakılmıştır. Aerobik egzersizlerin anksiyete, depresyonu azaltıp ruh sağlığını olumlu etkilediği görülmüştür (Nazmin ve ark., 2024). Çalışma da fiziksel aktivitenin madde kullanım bozukluğu olan kişilerde bilişsel işlevi duygudurum etkisine bakılmıştır. Sonuçta düzenli yapılan egzersizin madde isteğini azalttığı ruhsal açıdan duygu durumu pozitif yönde etkilediği ve bilişsel işlevini gelişmiştir (Zheng, Zhao, Chen & Li, 2024). Yapılan çalışmada, son 20 yıl içinde aktivite temelli müdahalelerin bağımlılık tedavisindeki etkisi incelenmiştir. Düzenli uygulanan aktivitelerin nüksleri azalttığı, ruhsal iyileşme gösterdiği, tedaviyle uyumu yakaladığı gösterilmiştir (Chen ve ark., 2024). Bu derlemede, yapılan aktivitenin alkol bağımlılığı olan bireyler de ruhsal sıkıntılar üzerindeki etkisine bakılmıştır. Çıkan sonuçta fiziksel aktivitenin terapötik rolünün uyumlu olduğu vurgulanmıştır (Li, Zhou, Gao ve Zang, 2024). Mindfulness temelli yaklaşımda, bireylerin relaps öncesi dürtüleri fark edip ve ona özgü bilinçli farkındalık geliştirir. Yapılan çalışmada madde kullanımını azalttığını ve tedavi sonrası relapsı ertelediği görülmüştür (Bowen, Chawla ve Marlatt, 2010).

SONUÇ

Madde bağımlılığı her kesimi etkileyip, ilgilendiren bir sorundur. Bu problemlerin önlenmesi için fiziksel aktiviteler ve terapötik müdahaleler fayda sağlamaktadır. Bireyin yaşam kalitesi arttırmak, kaybedilen sosyal yaşantısını geri işlevini kazanmak için düzenli bir şekilde bireye özgü problem odaklı seçilmelidir. Uzman bir kişi tarafından uygulanmalıdır.

KAYNAKÇA

Acar, G. A., Yakşi, N., & Yanardağ, R. (2025). Adölesanlarda bağımlılık yapıcı madde kullanımı sıklığı ve fiziksel aktivite ile arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Niğde Tıp Dergisi*, (3), 85-98.

Bahadır, E., Güneş, F., & Noyan, C. O. (2019). Madde kullanım bozukluğu olan bireylerde sıkıntıya toleransın madde kullanım sürecine etkisi. *Bağımlılık Dergisi*, 20(4), 214-223.

Bay, Ü. S., & Yılmaz, E. (2020). Ruhsal bozukluklarda fiziksel aktivite ve egzersizin etkileri ile ilgili yapılmış çalışmaların incelenmesi. *Akdeniz Spor Bilimleri Dergisi*, 3(2), 437-447.

Bowen, S., Chawla, N., & Marlatt, G. A. (2010). *Mindfulness-based relapse prevention for substance use disorders: A clinician's guide*. New York, NY: Guilford.

Çabuk, R., Çayır, H., Yıldız, M., Onat, T., Cincioğlu, G., Adanur, O., & Kayacan, Y. (2020). Egzersizin fizyolojik sistemler üzerine etkileri: Sistematik Derleme. *Helal Yaşam Tıbbı Dergisi*, 2(1), 21-38.

Çetin, S. (2024). Holistik sağlık ve fiziksel aktivite. *Fiziksel Aktivite ve Sağlık - IV*, 9.

Cıbır, S. E. (2022). Alkol ve madde bağımlılığında sosyal hizmet bakış açısıyla bir uygulama yöntemi: Motivasyonel grup çalışması. *Uluslararası Sosyal Hizmet Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 241-252.

Chen, J., Sun, L., Shilko, T. A., Tian, Y., Li, J., Wang, Q., ... & Zhang, L. (2024). Exploring exercise interventions in substance abuse treatment: A comprehensive bibliometric analysis. *Medicine*, 103(51), e41018.

Güçray, S. S., Çekici, F., & Çolakkadıoğlu, O. (2009). Psiko-eğitim gruplarının yapılandırılması ve genel ilkeleri. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5(1).

Güleç, G., Köşger, F., & Eşsizoğlu, A. (2015). DSM-5'te alkol ve madde kullanım bozuklukları. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, 7(4), 448-460.

Karakaş, S. A., & Ersöğütçü, F. (2016). Madde bağımlılığı ve hemşirelik. *HSP*, 3(2), 133-139.

Kargın, M., & Hiçdurmaz, D. (2018). Madde kullanım bozukluğu olan bireylerde sosyal işlevsellik, algılanan esenlik ve stresle başa çıkma. *Bağımlılık Dergisi*, 19(2), 35-39.

Kaya, E. (2014). Madde kullanım bozuklukları. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 30(2), 79-83.

Kurtoğlu, Y. K. (2022). Bağımlılık ve fiziksel aktivite. *Türkiye Klinikleri Sports Medicine - Special Topics*, 8(2), 84-87.

Li, J., Zhou, Z., Gao, G., & Zang, L. (2024). Effectiveness of exercise intervention in improving physical and mental status of patients with alcohol use disorders: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 19(10), e0311166.

Nazmin, F., Go, E., Fagbemi, M., Chowdhury, F., Kasulis, N., Sikandar, S., ... & Rahman, M. S. (2024). Madde kullanım bozukluğu olan hastalarda fiziksel egzersizin ruh sağlığı ve yaşam kalitesi üzerindeki faydalarına ilişkin sistematik bir inceleme. *Cureus*, 16(9).

Ögel, K. (2009). Motivasyonel görüşme tekniği. *Türkiye Klinikleri Journal of Psychiatry - Special Topics*, 2(2), 41-44.

Şen, Z. Ş., Danış, M. Z., & Kutlu, İ. (2025). Madde bağımlılığı ve farkındalık terapisi: Tedavi yöntemleri ve örnek sosyal hizmet uygulaması. *International Journal of Social Inquiry,* 18(1), 196-211.

Şimşek, N. (2010). Madde kullanım bozukluğu olan birey ve ailesinin hemşirelik bakımı. *Psikiyatri Hemşireliği Dergisi*, 1(2), 96-99.

Townsend, M. C. (2016). *Ruh sağlığı ve psikiyatri hemşireliğinin temelleri: Kanıta dayalı uygulama bakım kavramları* (Çev. Ed. C. T. Özcan & N. Gürhan). Ankara: Akademisyen Tıp Kitapevi. s. 460–490.

Uzun, B., & Kral, T. (2021). Fark et, anda kal; namıdiğer Mindfulness: Farkındalık uygulamalarının dünü, bugünü ve kültürümüze duyarlılığı. *Uluslararası Bilim ve Eğitim Dergisi*, 4(1), 15-27.

Yoldaş, C., & Demircioğlu, H. (2020). Madde kullanımı ve bağımlılığını önlemeye yönelik psikoeğitim programlarının incelenmesi. *Bağımlılık Dergisi*, 21(1), 72-91.

Yüksel, N. (Ed.). (2014). *Ruhsal hastalıklar*. Ankara: Akademisyen Tıp Kitapevi.

Zheng, Y., Zhao, Y., Chen, X., & Li, S. (2024). Effect of physical exercise on the emotional and cognitive levels of patients with substance use disorder: a meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 15, 1348224.

FİZYOTERAPİ VE REHABİLİTASYON ÖĞRENCİLERİNİN YAŞLILARA YÖNELİK TUTUMLARI VE ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Öğr. Gör. Dr. Fzt. Melda BAŞER SEÇER
Manisa Celal Bayar Üniversitesi/Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu,
melda.secer@cbu.edu.tr - 0000-0003-3943-2727

ÖZET

Bu çalışma, fizyoterapi ve rehabilitasyon öğrencilerinin yaşlılara yönelik tutumlarını ve bu tutumları etkileyen faktörleri incelemeyi amaçlamaktadır. Kesitsel nitelikteki bu çalışma, bir üniversitenin Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümünde öğrenim gören 166 öğrenci ile gerçekleştirilmiştir. Öğrencilerin yaşlılara yönelik tutumları, "Kogan'ın Yaşlılara Yönelik Tutum Ölçeği" kullanılarak değerlendirilmiştir. Cinsiyet, sınıf düzeyi, aile yapısı ve yaşlı bireyle birlikte yaşama durumu gibi değişkenlerin ölçek puanları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Katılımcıların %76'sı 3. sınıf, %24'ü ise 4. sınıf öğrencisidir. Öğrencilerin %75'i çekirdek aile yapısına sahip olup, %87'si yaşlı bir bireyle birlikte yaşamak istememektedir. Kogan'ın Yaşlılara Yönelik Tutum Ölçeği'nden elde edilen toplam puan ortalaması, kız öğrencilerde 94,80 iken erkek öğrencilerde 90,83 olarak bulunmuştur. Cinsiyet değişkeni açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($p=0,020$). Ancak, öğrencilerin yaşlılara yönelik tutumları sınıf düzeyi, aile yapısı ve yaşlı bireyle birlikte yaşama durumu gibi diğer değişkenlere göre anlamlı bir farklılık göstermemiştir ($p\geq0,05$). Bu çalışma, fizyoterapi ve rehabilitasyon öğrencilerinin yaşlılara yönelik tutumlarının genellikle olumsuz olduğunu ve bu tutumun cinsiyete göre anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle, öğrencilerin yaşlılara yönelik tutumlarını ve yaşlılarla çalışma istekliliklerini artırmak amacıyla, olumlu temas deneyimlerini teşvik eden ve gönüllü faaliyetlere katılımı destekleyen programların geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: öğrenci, fizyoterapi, yaşlı tutumu.

Objective: This study aims to examine the attitudes of physiotherapy and rehabilitation students towards the elderly and the factors influencing these attitudes.

Materials and Methods: This cross-sectional study was conducted with 166 students studying in the Physiotherapy and Rehabilitation department of a university. The students' attitudes towards the elderly were evaluated using the "Kogan's Attitudes Toward Old People Scale". The effects of variables such as gender, grade level, family structure, and living with an elderly individual on the scale scores were analyzed.

Results: 76% of the participants were 3rd-grade students and 24% were 4th-grade students. 75% of the students had a nuclear family structure, and 87% did not want to live with an elderly individual. The mean total score obtained from the Kogan's Attitudes Toward Old People Scale was 94.80 for female students and 90.83 for male students. A statistically significant difference was found in terms of the gender variable ($p=0.020$). However, the students' attitudes towards the elderly did not show a significant difference according to other variables such as grade level, family structure, and living with an elderly individual ($p\geq0.05$).

Conclusion: This study revealed that the attitudes of physiotherapy and rehabilitation students towards the elderly are generally negative, and this attitude shows significant differences according to gender. In particular, it is important to develop programs that promote positive contact experiences and support participation in voluntary activities to improve students' attitudes towards the elderly and their willingness to work with them.

Keywords: elderly people, student, attitude towards the elderly, physiotherapy

1. GİRİŞ

Yaşlılık, biyolojik, psikolojik ve sosyoekonomik unsurların karşılıklı etkileşimiyle ortaya çıkan, gerilemenin ve sorunların belirginleştiği bir evredir. Kronolojik yaşlanma genellikle 65 yaş ve üzeri olarak tanımlanmaktadır (1). Türkiye İstatistik Kurumu'nun (TÜİK) sunduğu verilere göre, 2015 yılında 6 milyon 495 bin 239 olan yaşlı nüfus, takip eden beş yıllık süreçte %22.5'lik bir artış göstererek 2020 yılında 7 milyon 953 bin 555'e ulaşmıştır. Yaşlı nüfusun toplam nüfus içindeki oranın 2030 yılında %12.9'a çıkacağı öngörülmektedir (2).

Dünya genelinde, hızla artan yaşlı nüfus, birçok sosyal zorluğu ve ekonomik yükü beraberinde getirmektedir. Bu yüzden yaşlı ile ilgili alanlarda çalışanların sayısı da her geçen gün artmaktadır. Türkiye'de yaşlı nüfusun giderek artış göstermesi, yaşlı bireylerin sağlık ve yaşam kalitelerini desteklemek amacıyla fizyoterapi hizmetlerine olan ihtiyacı önemli ölçüde artırmaktadır (3).

Yaşlılığı derinden etkileyen temel faktörlerden biri, yaşlılara karşı beslenen önyargılar, yerleşik inançlar ve sergilenen tutumlardır. Geçmişte yaşlı bireylerin bilgi birikimleri ve deneyimleri toplum için değerli birer kaynak olarak kabul görürken, günümüzde sıklıkla bakıma muhtaç, yalnız, karamsar ve birçok temel işlevi yerine getiremeyen bireyler olarak algılanmaktadırlar (4). Bu olumsuz algı, yaşlıların sosyal hayata katılımını, kendi potansiyellerini gerçekleştirmelerini ve genel iyilik hallerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (5).

Türkiye'de gerçekleştirilen bir araştırma, hemşirelik öğrencilerinin yaşlı bireylere yönelik başlangıçta olumsuz düşüncelere sahip olabildiklerini göstermektedir. Ancak, mezuniyet sonrası dönemde bu öğrencilerin yaşlı bireylere bakım verme konusunda daha istekli oldukları gözlemlenmiştir (6). Yaşlı yetişkinlerle çalışmak, beraberinde yalnızca fiziksel sağlık sorunlarına yönelik mücadeleyi getirmemekte, aynı zamanda depresyon, tükenmişlik ve sosyal yalnızlık gibi önemli psikolojik ve sosyal zorlukları da içerebilmektedir (7, 8). Dahası, yaşlı yetişkinlere karşı var olan olumsuz önyargılar, kişisel değerler, derinle kök salmış inançlar ve genel tutumlar, sunulan bakımın niteliğini doğrudan etkileyebilmektedir. Yaşlanma sürecine ve yaşlılığın kendisine yönelik geliştirilen olumlu veya olumsuz tutumların, sunulan bakım hizmetlerinin kalitesiyle doğrudan bir ilişkisi olduğu çeşitli çalışmalarla ortaya konmuştur (9). Bu durum, sağlık profesyonellerinin eğitimi sürecinde yaşlılığın multidisipliner yönlerinin ele alınmasının, empati ve saygıyı teşvik eden bir öğrenme ortamı yaratılmasının ve olumsuz stereotiplerle mücadele

edilmesinin ne kadar kritik olduğunu açıkça göstermektedir. Sağlık alanında eğitim gören öğrencilerin yaşlı ile çalışmayı ve yaşlı bakımını, düşük düzeyde tercih edilen, moral bozucu ve zorlayıcı bir uzmanlık alanı olarak görmeleri kaygı vericidir. Bu olumsuz tutumların temelinde, öğrencilerin yaşlı bireylerle sınırlı teorik bilgiye ve yetersiz klinik deneyime sahip olmaları yatmaktadır (10-12). Bu nedenle, geleceğin sağlık profesyonellerini, giderek artan yaşlı nüfusun sağlık ve bakım ihtiyaçlarını karşılayabilecek bilgi, beceri ve olumlu tutumlarla donatmak önemli ve ivedilik gerektiren bir sorumluluktur

Yaşlanan küresel nüfusun artan bakım gereksinimlerini karşılamak ve sunulan sağlık hizmetinin kalitesini yükseltmek amacıyla, gelecekteki fizyoterapistlerin yaşlı bireylere yönelik tutumlarının incelenmesi gerekmektedir. Yaşlı bireylerle profesyonel olarak etkileşim kurma ve onlara etkin fizyoterapi bakımı sağlama arzusunu değerlendirmek ve bu doğrultuda stratejik planlamalar yapmak, gelecekteki eğitim müfredatlarını ve mesleki uygulamaları şekillendirmek açısından önemlidir. Bu temel gereklilikten hareketle, bu çalışmada fizyoterapi lisans programında öğrenim gören öğrencilerin yaşlı yetişkinlere karşı tutumlarını ve etkileyebilecek faktörleri araştırmayı amaçladık.

2. GEREÇ VE YÖNTEMLER

Bu kesitsel araştırma, 15 Mart -15 Nisan 2025 tarihleri arasında yapılmıştır. Araştırmanın evrenini bir devlet üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümünde öğrenim gören öğrenciler; örneklemini ise internet üzerinden mesaj yolu ile (WhatsApp; 1 Meta Way, Kaliforniya, ABD) gönderilen ve forma erişim sağlayan, bu formu tamamlayıp geri dönüş sağlayan öğrenciler (n=166) oluşturmuştur. Anket formuna başlamadan önce katılımcılardan onay alınmıştır. Araştırmanın dâhil edilme kriterleri, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümünde öğrenim görüyor olmak, çalışma için gönüllü olmak ve Türkçe okuyup anlayabiliyor olmaktır. Gönderilen formu eksik bir şekilde gönderen öğrenciler çalışmadan dışlanmıştır. Bu çalışmanın etik kurul onayı, XXX Etik Kurulundan alınmıştır. Bu çalışmada Helsinki Deklarasyonu prensiplerine uygun hareket edilmiştir.

Araştırma kapsamında “Google Forms” uygulaması kullanılarak hazırlanan yapılandırılmış anket formu, bağlantı linki ile öğrencilere akıllı telefonlar için geliştirilmiş bir mesajlaşma ve arama uygulaması (WhatsApp) üzerinden ulaştırıldı. Araştırmada kullanılan ve beş bölümden oluşturulan

anket formunun ilk bölümünü; araştırmanın amacı ve bu araştırmaya gönüllü olarak katılım sağlanabileceğini ifade eden genel bir bilgilendirme metni ile 'Bu araştırmaya gönüllü olarak katılmak istiyorum' ve 'Bu araştırmaya katılmak istemiyorum' seçenekleri oluşturdu. 'Bu araştırmaya gönüllü olarak katılmak istiyorum' seçeneğini tercih eden öğrenciler formun diğer bölümlerine geçebildi. Formun ikinci bölümünde öğrencilere, sosyo-demografik (yaş, cinsiyet, öğrenim gördüğü sınıf, aile yapısı, yaşlı birey ile yaşam durumu…vb.) özelliklerini sorgulayan sorular; üçüncü bölümünde Yaşlılara Yönelik Tutum Ölçeği'nde yeralan sorular yöneltildi.

Kogan'ın Yaşlılara Yönelik Tutum Ölçeği

Yaşlılara Yönelik Tutum Ölçeği, Kogan tarafından 1961 yılında bireylerin yaşlılara karşı tutumlarını ölçmek amacıyla geliştirilmiştir (13). Toplam 34 maddeden oluşan ve 6'lı likert tipi olan ölçeğin; 17 pozitif ve 17 negatif ifadesi bulunmaktadır. Ölçeğin yapısı nedeniyle negatif ifadeler 6, 5, 4, 3, 2, 1; pozitif ifadeler 1, 2, 3, 4, 5, 6 şeklinde puanlanmaktadır. Ölçeğin alt boyutları bulunmamaktadır. Tüm maddelerden elde edilen puanlar toplanarak toplam puana ulaşılmaktadır. Ölçeğin puan aralığı 34-204 puan arasında olmakta, puanın yüksek olması pozitif tutumu, düşük olması negatif tutumu göstermektedir. Ölçeğin Türkçe geçerlilik ve güvenilirlik çalışması Küçükgüçlü ve ark. tarafından yapılmış ve Cronbach alfa değeri 0,89 olarak bulunmuştur (14).

İstatistiksel Analiz

Araştırma kapsamında elde edilen verilerin istatistiksel analizi IBM SPSS Statistics Standart Concurrent User V 26 (IBM., Armonk, New York, ABD) paket programı ile yapıldı. Katılımcıların kategorik değişkenleri sayı (n) ve yüzde (%) ile; sayısal değişkenleri ise normal dağılım koşulları sağlandığı için ortalama ve standart sapma (ort±SS) olarak verildi. Değişkenlerin normalliği Shapiro Wilk testi ile, varyansların homojenliği ise Levene testi ile değerlendirildi. İki grup arasındaki ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasında ikiden fazla grupta ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasında tek yönlü varyans analizi, oran karşılaştırmalarında ise ki-kare testi kullanıldı. Değişkenlerin arasındaki ilişki için Pearson Korelasyon analizi yapıldı. Anlamlılık düzeyi ise $p \leq 0,05$ olarak kabul edildi.

3. BULGULAR

Bu kesitsel çalışmaya bir üniversitenin Sağlık Bilimleri Fakültesi Fizyoterapi ve Rehabilitasyon bölümünde öğrenim gören 166 öğrenci katılmıştır. Öğrencilerin yaş ortalaması 21,8'dir. Öğrencilerin %66'sını kız öğrenciler oluşturmuştur. Öğrencilerin %75'i çekirdek aile tipine sahiptir, % 52'sinin yaşlı ile yaşama deneyimi bulunmaktadır. Öğrencilerin%88'i yaşlı bir akraba ile aynı evde yaşamak istememektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Öğrencilerin Demografik Özellikleri

Yaş (X±SS)	**21,84±1,59**
Cinsiyet (n, %)	
Kız	110/66,3
Erkek	56 /33,7
Sınıf (n, %)	
3. Sınıf	127/76,5
4. Sınıf	39/23,5
Aile Tipi (n, %)	
Çekirdek	124/74,7
Geniş	30/18,1
Parçalanmış	12/7,2
Aile Gelir Durumu (n, %)	
Gelir giderinden az	22/13,3
Gelir giderine denk	97/58,4
Gelir giderinden fazla	47/28,3
Yaşlı ile yaşama durumu (n, %)	
Evet	84/50,6
Hayır	82 /49,4
Yaşça büyük bir akraba ile aynı evde yaşama durumu (n, %)	
Evet	86/51,8
Hayır	80/48,2

Yaşlı akrabalarla birlikte yaşamak ister misiniz? (n, %)	
Evet	22/13,3
Hayır	144/86,7

X±SS: Ortalama±Standart Sapma, n:sayı

Kogan'ın Yaşlılara Yönelik Tutum Ölçeği total puan ortalaması kız öğrencilerde 94,80, erkek öğrencilerde 90,83 bulunmuştur. Sınıfa, aile yapısına ve yaşlı ile yaşama deneyimine göre ölçek total puanında anlamlı bir değişim bulunmamıştır (p≥0,05). Cinsiyete göre ölçek total puanında anlamlı bir fark vardır (p: 0,020) (Tablo 2).

Tablo 2. Öğrencilerin Kogan'ın Yaşlıya Yönelik Tutum Ölçeği Puanı

	Kogan'ın Yaşlıya Yönelik Tutum Ölçeği Puanı (X±SS)	p
Cinsiyet		
Kadın	94,80±10,55	**0,020**
Erkek	90,83±9,84	
Sınıf		
3. Sınıf	93,80±11,31	0.461
4. Sınıf	92,38±7,04	
Aile Tipi		
Çekirdek	94,50±10,37	0,118
Geniş	89,93±11,31	
Parçalanmış	91,66±7,22	
Yaşlı ile yaşama durumu		

Evet	92,84±9,87	0,438
Hayır	94,10±11,05	

4. TARTIŞMA

Bu çalışma, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümünde öğrenim gören öğrencilerin yaşlılara yönelik tutumu ve ilişkili faktörleri incelemek için yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları fizyoterapist adaylarının yaşlılara yönelik negatif tutum içinde olduğunu ve cinsiyete göre bu tutumun değiştiğini göstermektedir. Yaşlıya yönelik tutum, sınıfa, aile yapısına ve yaşlı ile yaşama deneyimine göre değişmemektedir.

Genel olarak, araştırmalar cinsiyetin yaşlı yetişkinlere yönelik bilgi veya tutumlarla anlamlı bir ilişkisi olmadığını göstermiştir. Duthie ve Donaghy (15), çalışmalarında cinsiyetin öğrencilerin yaşlı yetişkinlere dair bilgi veya tutum seviyeleri üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Bu sonuç, cinsiyetin yaşlı yetişkinlere yönelik tutumlar açısından tutarlı bir şekilde önemsiz bir faktör olduğunu gösteren diğer çalışmalarla da uyumludur (16). Ancak, bu genel eğilimin aksine, Zambrini ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada kadın öğrencilerin genel olarak erkek öğrencilere kıyasla yaşlılara karşı daha olumlu tutumlar sergilediği bildirilmiştir (17). Fizyoterapi öğrencileri arasında yapılan bir araştırma, kadın öğrencilerin erkek öğrencilere kıyasla yaşlılara karşı daha olumlu tutum ve davranışlar sergilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, yaşlı bir bireyle yaşayan, yaşlı bir akrabası/yakınıyla yaşama isteği olan, huzurevi ziyareti gerçekleştiren, mezuniyet sonrası geriatrik alanda çalışmayı hedefleyen ve eğitimleri süresince yaşlı sağlığına yönelik toplantı veya kurslara katılan öğrencilerin yaşlılara karşı daha güçlü pozitif tutumlar geliştirdiği belirtilmektedir (18). Çalışmamızda ise fizyoterapi ve rehabilitasyon bölümü öğrencilerinin yaşlılara karşı olumsuz bir tutum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Bu olumsuz tutum, öğrencilerin yaşlılarla çalışma arzusunu da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Lisans düzeyinde yaşlı sağlığı ve rehabilitasyonu alanında daha kapsamlı derslerin müfredatta yer alması, öğrencilerin yaşlı bireylere karşı olumlu tutumlar geliştirmesinde önemli bir rol oynayabilir. Eğitim kurumları, öğrencilerin yaşlılara yönelik tutumlarını şekillendirme ve kariyer tercihlerini etkileme konusunda ilk adımlardan birini oluşturmaktadır. Daha önceki araştırmalar, eğitimin ve

öğrencilerin akademik seviyesinin hemşirelik öğrencilerinin yaşlılara karşı tutumları üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ek olarak, cinsiyetin ve yaşlı bakımı konusunda daha önce deneyim sahibi olmanın da hemşirelik öğrencilerinin yaşlılara yönelik tutumlarıyla ilişkili faktörler olduğu saptanmıştır (19, 20). Bizim çalışmamızın bulgularına göre, yaşlılara yönelik tutumlar cinsiyete göre farklılık göstermekte olup, yaşlıyla yaşama deneyimi ve akademik yıla (sınıf düzeyi) göre anlamlı bir değişiklik saptanmamıştır. Çalışmalarda kadınlarda olumlu tutumun daha yüksek olmasının nedeni, kadınların toplumsal cinsiyet rolleri gereği daha koruyucu ve şefkatli olmaları olabilir.

İskoçya'da birinci ve dördüncü sınıf fizyoterapi öğrencileriyle yürütülen bir çalışma, öğrencileri yaşlı yetişkinlerle daha önce temas kurma durumlarına göre gruplandırmış ve bu gruplar arasında yaşlılara yönelik tutumda anlamlı bir farklılık olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, birinci sınıf öğrencilerinin genellikle sağlıklı ve formda yaşlı yetişkinlerle etkileşim kurma olasılığının daha yüksek olduğunu, buna karşın dördüncü sınıf öğrencilerinin hem zayıf/hasta hem de formda/sağlıklı yaşlı yetişkinlerle temas kurma olasılığının daha fazla olduğunu belirtmişlerdir (15). Ancak bu bulguya zıt olarak, başka bir araştırmada, çocukluk veya ergenlik döneminde beş yıldan uzun süre büyükanne ve büyükbabalarıyla birlikte yaşamış sağlık bilimleri öğrencilerinin yaşlı yetişkinlere yönelik tutumlarında herhangi bir anlamlı farklılık bulunmamıştır (17). Kaker ve arkadaşlarının çalışması ise, aynı evde yaşlı bir yetişkinle yaşayan sosyal gerontoloji ve fizyoterapi öğrencilerinin Kogan Ölçeği'ndeki bazı maddelere karşı daha az olumsuz tutum sergilediğini göstermiş olsa da, genel olumsuz tutum farkının istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varmıştır (21). Çalışmamızda yaşlı ile yaşama deneyimine göre yaşlıya yönelik tutum değişmemektedir.

Çalışmamızda saptanan öğrencilerin yaşlılara yönelik olumsuz tutumları göz önüne alındığında, bu durumu iyileştirmeye yönelik önlemlerin alınması gerekmektedir. Öğrencilerin yaşlılara karşı tutumlarının olumlu yönde değişmesi, gelecekte yaşlı bireylere rehabilitasyon ve sağlık hizmeti sunma olasılıklarını artıracaktır. Literatürde de belirtildiği gibi (11), eğitim müdahaleleri öğrencilerin yaşlılara bakış açısını dönüştürmede etkili olabilir. Özellikle olumlu klinik öğrenme deneyimleri ve gerontolojik hemşirelik eğitiminin, yaşlı insanlara yönelik tutumları iyileştirebileceği ve hemşirelik öğrencilerinin yaşlı bakımı alanını tercih etmelerini teşvik edebileceği öne sürülmektedir (22).

Ancak, mentorların olumsuz yaklaşımları ve klinik uygulamalar sırasındaki olumsuz deneyimler, öğrencilerde yaşlılara karşı olumsuz tutumların gelişmesine katkıda bulunabilir (23, 24). Bu nedenle, yapılan çalışmalar destekleyici bir öğrenme ortamının ve eğitmenlerle karşılıklı saygıya dayalı güvenilir bir ilişkinin önemini vurgulamaktadır. Eğitim müfredatına, farklı klinik ortamlarda yaşlıların bakımına yönelik sürekli ve olumlu öğrenme deneyimleri entegre edilmeli ve eğitim programı boyunca olumlu tutumların teşvik edilmesi sağlanmalıdır (25). Bu sayede, geleceğin fizyoterapist ve rehabilitasyon uzmanlarının yaşlı bireylere karşı daha bilinçli, saygılı ve olumlu bir yaklaşımla hizmet vermeleri hedeflenmelidir.

5. SONUÇ

Fizyoterapi ve rehabilitasyon bölümü öğrencileri arasında olumlu tutumların geliştirilmesi, yaşlı insanlara kaliteli sağlık hizmeti sağlamada çok önemlidir. Fizyoterapi öğrencilerinin geriatrik rehabilitasyon verimini ve istekliliğini artırmak için yaşlılara yönelik önyargıyı azaltmak ve yaşlılara yönelik olumlu tutumlar geliştirmek gerekmektedir. Özellikle, yaşlılarla olumlu temas deneyimleri ve yaşlılar için gönüllü faaliyetler gibi programlar geliştirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

1. *WHO [Internet]. Ageing and Health Available from: http://www.who.int/news-room/ fact-sheets/detail/ageing-and-health.* 2023.

2. *https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Yaslilar-2021-45636*. [cited 2024 11.11.2024].

3. Pekçetin S. Üçüncü sınıf fizyoterapi ve rehabilitasyon öğrencilerinin yaşlılara yönelik tutumlarına eğitimin etkisi. Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2018; **5**(3): 59-63.

4. Öztürk Ş, Kanbay Y, Fırat M, Akçam A ,Demir B. Yaşlılık inancı ve yaşlılık inancını etkileyen etmenlerin incelenmesi. Geriatrik Bilimler Dergisi. 2020; **3**(3): 92-102.

5. Neşe A ,Tetik A. SAĞLIK HİZMETLERİ MESLEK YÜKSEKOKULU YAŞLI BAKIM VE FİZYOTERAPİ PROGRAMI ÖĞRENCİLERİNİN YAŞLI BİREYE YÖNELİK

TUTUMLARININ BELİRLENMESİ: GAZİANTEP İLİ ÖRNEĞİ. Hastane Öncesi Dergisi. 2023; **8**(1): 49-60.

6. Celik S S, Kapucu S, Tuna Z ,Akkus Y. Views and attitudes of nursing students towards ageing and older patients. Australian Journal of Advanced Nursing, The. 2010; **27**(4): 24-30.

7. Özçakar N, Kartal M, Tekin N ,Güldal D. Burnout and relevant factors in nursing staff: what affects the staff working in an elderly nursing home. 2012.

8. Robison J, Fortinsky R, Kleppinger A, Shugrue N ,Porter M. A broader view of family caregiving: effects of caregiving and caregiver conditions on depressive symptoms, health, work, and social isolation. Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences. 2009; **64**(6): 788-798.

9. Wade. Promoting quality of care for older people: developing positive attitudes to working with older people. Journal of Nursing Management. 1999; **7**(6): 339-347.

10. Carlson E. Meaningful and enjoyable or boring and depressing?: the reasons student nurses give for and against a career in aged care. Journal of Clinical Nursing. 2015; **24**(3-4): 602-604.

11. Shen J ,Xiao L D. Factors affecting nursing students' intention to work with older people in China. Nurse education today. 2012; **32**(3): 219-223.

12. McCann T V, Clark E ,Lu S. Bachelor of Nursing students career choices: A three-year longitudinal study. Nurse Education Today. 2010; **30**(1): 31-36.

13. Kogan N. Attitudes toward old people in an older sample. The Journal of Abnormal and Social Psychology. 1961; **62**(3): 616.

14. Küçükgüçlü Ö, Mert H ,Akpınar B. Reliability and validity of Turkish version of attitudes toward old people scale. Journal of clinical nursing. 2011; **20**(21-22): 3196-3203.

15. Duthie J ,Donaghy M. The beliefs and attitudes of physiotherapy students in Scotland toward older people. Physical & Occupational Therapy in Geriatrics. 2009; **27**(3): 245-266.

16. Leon S, Correa-Beltrán G ,Giacaman R A. Negative ageing stereotypes in students and faculty members from three health science schools. Gerodontology. 2015; **32**(2): 141-148.

17. Zambrini D A B, Moraru M, Hanna M, Kalache A ,Nuñez J F M. Attitudes toward the elderly among students of health care related studies at the University of Salamanca, Spain. Journal of Continuing education in the health professions. 2008; **28**(2): 86-90.

18. Bakirhan S, ÖZKESKİN M, AKTAR REYHANİOĞLU D ,GÜLPINAR D. ANALYSIS OF THE ATTITUDES AND APPROACHES OF THE PHYSIOTHERAPY AND REHABILITATION STUDENTS TOWARDS THE ELDERLY. Turkish Journal of Geriatrics/Türk Geriatri Dergisi. 2017; **20**(2).

19. Deltsidou A, Gesouli-Voltyraki E, Mastrogiannis D, Mantzorou M ,Noula M. Nurse teachers' and student nurses' attitudes towards caring the older people in a province of Greece. Health Science Journal. 2010; **4**(4): 245.

20. Lambrinou E, Sourtzi P, Kalokerinou A ,Lemonidou C. Attitudes and knowledge of the Greek nursing students towards older people. Nurse education today. 2009; **29**(6): 617-622.

21. Kaker D J, Ovsenik M ,Zupancic J. Attitudes of social gerontology and physiotherapy students towards the elderly. Organizacija. 2016; **49**(1): 55.

22. Li Y, *Survey and research on nursing students' attitudes, knowledge and work preferences toward older people*. 2014, Master's thesis). Jilin University, Changchun, China.

23. Gould O N, Dupuis-Blanchard S ,MacLennan A. Canadian nursing students and the care of older patients: How is geriatric nursing perceived? Journal of Applied Gerontology. 2015; **34**(6): 797-814.

24. Stevens J A. Student nurses' career preferences for working with older people: A replicated longitudinal survey. International journal of nursing studies. 2011; **48**(8): 944-951.

25. Zhang S, Liu Y-h, Zhang H-f, Meng L-n ,Liu P-x. Determinants of undergraduate nursing students' care willingness towards the elderly in China: Attitudes, gratitude and knowledge. Nurse Education Today. 2016; **43**: 28-33.

PSİKİYATRİ HASTALARINDA EGZERSİZ MOTİVASYONUNU ARTIRMADA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI

NURSING APPROACHES TO INCREASE EXERCISE MOTIVATION IN PSYCHIATRIC PATIENTS

İsmailcan CABER

Graduate Student, Selcuk University, Institute of Health Sciences, Department of Psychiatric Nursing

cancaber15@gmail.com- **ORCID ID:** 0009-0009-7871-0823

Neslihan LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Nursing, Department of Psychiatric Nursing

neslihanlok@selcuk.edu.tr-**ORCID ID:** 0000-0003-1568-9659

Sefa LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Sports Sciences, Department of Coach Education

sefalok@selcuk.edu.tr-**ORCID ID:** 0000-0001-9632-2888

ÖZET

Psikiyatri hastalarında egzersiz, hem fiziksel sağlık hem de ruhsal sağlık için oldukça önemlidir. Ruhsal hastalıklarda egzersizlerin artırılması, bireyin genel sağlığını iyileştirebileceği gibi ruh haline de olumlu katkı sağlayabilir. Egzersiz, şizofreni, depresyon, anksiyete gibi ruhsal bozuklukların semptomlarını hafifletme konusunda tamamlayıcı bir tedavi seçeneği olarak görülmektedir. Ancak psikiyatrik hasta gruplarında egzersiz motivasyonunu artırmak da birtakım sorunları da beraberinde getirmektedir. Hemşireler bu süreçte; ilaçların yan etkileri, hastalığın alevlenme dönemleri, hastaların düşük motivasyonu ile içe kapanma gibi sorunlarla karşılaşmakta; buna ek olarak kurumların yetersiz fiziksel koşulları, personel eksikliği ve destekleyici politikaların olmayışı da süreci daha da zorlaştırabilmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için hemşirelerin hastayı bireysel ve bütüncül olarak değerlendirmesi, terapötik ilişki kurması, egzersiz motivasyonunu artırmaya yönelik müdahaleler planlaması oldukça önemlidir. Bu bağlamda hemşirelerin aktif bir rol alması psikiyatri hastalarının egzersiz motivasyonu için oldukça kıymetlidir. Bu süreçte küçük adımlarla başlamak önemlidir. Örneğin, günde 5-10 dakikalık düşük yoğunluklu yürüyüşlerle başlayıp, zamanla sürenin ve yoğunluğun artırılması etkili bir yöntem olabilir. Rutin oluşturmak ve her gün aynı saatlerde egzersiz yapmak, alışkanlık kazandırabilir. Bu derlemede, psikiyatri hastalarının egzersiz motivasyonu artırmak, hastalara yönelik egzersiz

planlamaları ve tüm bu süreçlerde hemşirelerin yapabileceklerine yönelik güncel kaynaklarla dikkat çekilmek istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Psikiyatri Hastaları, Egzersiz, Hemşirelik.

ABSTRACT

Exercise in psychiatric patients is very important for both physical and mental health. Increasing exercise in mental illnesses can improve the general health of the individual as well as contribute positively to mood. Exercise is seen as a complementary treatment option to alleviate the symptoms of mental disorders such as schizophrenia, depression and anxiety. However, increasing exercise motivation in psychiatric patient groups also brings along some problems. In this process, nurses face problems such as side effects of medications, exacerbation periods of the disease, low motivation of patients and withdrawal; in addition, inadequate physical conditions of institutions, lack of personnel and lack of supportive policies can make the process even more difficult. In order to overcome these difficulties, it is very important for nurses to evaluate the patient individually and holistically, establish a therapeutic relationship, and plan interventions to increase exercise motivation. In this context, nurses taking an active role is very valuable for the exercise motivation of psychiatric patients. It is important to start with small steps in this process. For example, starting with low-intensity walks of 5-10 minutes a day and increasing the duration and intensity over time can be an effective method. Establishing a routine and exercising at the same times every day can be habit-forming. In this review, it is aimed to draw attention with current resources to increase the exercise motivation of psychiatric patients, exercise planning for patients and what nurses can do in all these processes.

Keywords: Psychiatric Patients, Exercise, Nursing.

GİRİŞ

Egzersiz, kas aktivitesiyle enerji harcanmasını içeren ve bireylerin fiziksel, psikolojik ile sosyal iyi oluşuna çok yönlü katkılar sunan temel bir sağlık davranışıdır. Bununla birlikte, öz güven eksikliği, düşük benlik saygısı, depresyon ve anksiyete gibi etkenler nedeniyle psikiyatri hastalarının egzersize yönelik motivasyonu genel popülasyona göre belirgin biçimde düşüktür. Dolayısıyla ruh sağlığının korunması ve geliştirilmesinde kritik rol üstlenen psikiyatri hemşirelerine, bu bireylerde egzersiz davranışını teşvik etme ve sürdürülebilir kılma noktasında önemli sorumluluklar düşmektedir.

EGZERSİZİN ETKİLERİ

Egzersizin fizyolojik ve psikolojik açıdan oldukça etkili bir yöntem olduğu belirtilmektedir. Fizyolojik etkileri arasında endorfin artışı, vücut ısısında yükselme, mitokondri işlevlerinin gelişimi ve nörotransmitter sentezinde artış yer almaktadır. Psikolojik açıdan ise depresyon ve anksiyete belirtilerinde azalma ile öz yeterlilik duygusuna bağlı olumlu hislerde artış

gözlemlenmektedir (Fuss ve ark 2015). Ayrıca inflamasyona etkisi de incelenmiş, inflamasyonun kötü ruh sağlığıyla ilişkili olduğu gösterilmiş, egzersizin ise bu süreçleri azaltarak özellikle inflamatuvar hastalığı olan bireylerde ruh sağlığını iyileştirebileceği öne sürülmüştür (Dantzer ve ark 2008, Gleeson 2007, Petersen ve ark 2005).

PSİKİYATRİ HASTALARINDA EGZERSİZ

Ruhsal hastalığı olan bireyler, sağlık taramalarına göre, anlamlı düzeyde daha az yoğun egzersiz yapmakta ve belirgin şekilde daha fazla sedanter davranış sergilemektedir (Stubbs ve ark 2016, Vancampfort ve ark 2016). Bu düşük fiziksel hareketlilik düzeyi, ruhsal hastalığı bulunan bireyler arasında diyabet, obezite ve çeşitli tıbbi komorbiditeler dahil olmak üzere çok sayıda olumsuz sağlık sonucunun bir göstergesidir (Vancampfort ve ark 2013, Suetani ve ark 2016). Aynı zamanda daha ağır negatif semptomlar ve düşük sosyoekonomik düzey, düşük mesleki ve sosyal işlevsellik ile de ilişkilendirilmektedir. Psikiyatri hastalarında egzersizin amacı; hastalardaki anksiyete ve depresyon belirtilerini azaltmak, dikkati toparlamak ve sirkadiyen ritmi yapılandırmak, sosyal etkileşimi artırmak, özgüven düzeyini yükseltmek ve hastalarda içe çekilmeyi önlemektir (Suetani ve ark 2016).

Yapılan çalışmalarda, egzersiz temelli müdahalelerin, majör depresyon ve psikotik bozukluklara sahip bireylerde hem fiziksel sağlığı iyileştirebildiğini hem de psikiyatrik semptomların şiddetini azaltabildiğini ortaya koymaktadır (Rosenbaum ve ark 2014, Firth ve ark 2015). Ayrıca, egzersizin şizofreni hastalarında negatif belirtileri ve bilişsel yetersizlikleri azaltma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir. Bu bağlamda, ciddi ruhsal bozukluğu olan bireylerin bakım sürecine egzersizin sistematik ve uygun biçimde entegre edilmesi, yalnızca kardiyometabolik riskleri ve buna bağlı mortaliteyi azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda işlevsel iyileşmeyi de destekleyebilmektedir (Firth ve ark 2015, Kimhy ve ark 2015).

Buschert ve arkadaşları (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, yatarak tedavi gören hastalara yönelik rutin bakım sürecine entegre edilen bir egzersiz programının, majör depresyon tanısı almış bireylerde bilişsel işlevler ve depresyonun öznel şiddeti üzerindeki etkileri değerlendirilmiş; elde edilen bulgularda, fiziksel egzersizin bilişsel performans üzerinde umut vadeden etkiler sunduğunu ve depresif bireyler için uygulanabilir, erişimi kolay bir tamamlayıcı tedavi seçeneği olduğu gösterilmiştir.

Lebiecka ve çalışma arkadaşlarının (2019) yürüttüğü çalışmada, şizofreni hastalarında artan erken ölüm oranlarının; büyük ölçüde antipsikotik tedaviye, yetersiz egzersiz ve özellikle artmış somatik komorbiditelere bağlı olduğuna dikkat çekilmiştir. Fiziksel aktivitenin, psikolojik ve diyet temelli müdahalelerle birlikte metabolik sendrom, kardiyovasküler uygunluk ve bilişsel işlevlere ilişkin parametrelerde iyileşme sağladığı vurgulanmıştır. Çalışmada, önceki araştırma bulgularına atıfla, şizofreni hastalarında denetimli egzersiz programlarına verilen yanıt doğrultusunda hem semptomlarda azalma hem de bilişsel performansta artış gözlendiği belirtilmiştir. Egzersizin özellikle bilişsel işlevler, dikkat ve uyanıklık düzeyi, sosyal biliş ve çalışma belleği alanlarında

olumlu etkiler sağladığı belirtilmiştir. Bunlara ek olarak, egzersizin diğer psikososyal ve diyet müdahaleleriyle birlikte uygulandığında, şizofreni hastalarının işlevsellik düzeylerinin çeşitli boyutlarını iyileştirebileceği ve hem bilişsel performans hem de fiziksel sağlık üzerinde olumlu etkiler gösterebileceğine dair güçlü kanıtların mevcut olduğu da vurgulanmıştır.

HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI

Psikiyatri hemşiresi, hastaların bireysel gelişimlerini desteklemek, sosyal etkileşimlerini artırmak ve benlik saygılarını, girişimcilik becerilerini güçlendirmek amacıyla terapötik grup etkinlikleri (örneğin günaydın toplantıları, işe yönlendirme, uğraşı çalışmaları, spor, sinema, kitap okuma, gezi gibi) planlar, bu etkinliklere katılımı teşvik eder ve süreç boyunca gözlem yapar. Ayrıca, rehabilitasyon ekibiyle koordineli şekilde çalışarak süreci destekler (T.C. Sağlık Bakanlığı 2011). Bu uygulamalar çeşitli multidisipliner yaklaşımlarla daha etkili ve kuvvetli olabilmektedir. Psikiyatri hemşiresi hastalar için egzersiz saatleri düzenleyebilmekte, hastaların egzersize katılımını sağlayabilmektedir. Çünkü hemşire bu hususta hastaları yönlendirme hakkına sahiptir. Egzersiz bu noktada psikososyal rehabilitasyonun bir parçası olarak karşımıza çıkmakta ve tedavinin önemli bir destekleyici tarafını yansıtmaktadır. Psikiyatri hemşiresi, hastanın tıbbi tanısı, ilgi alanları ve fiziksel özelliklerini göz önünde bulundurarak bireysel veya grup şeklinde egzersiz aktivitelerini planlamaktadır. Bunlara örnek olarak bireysel/grup halinde basit beden egzersizleri, sabah yürüyüşleri, açık hava etkinlikleri, yoga şeklinde verilebilir (Faulkner ve ark 2002).

SONUÇ

Ruhsal hastalığa sahip bireyler genellikle diğer bireylere göre daha az egzersiz yapma özelliği sergilemektedir. Bu durum ise klinik tabloların kötüleşmesine veya iyileşmenin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu durumda ise ruhsal hastalığı olan bireylerinin takibini yapan ve onlarla iç içe olan psikiyatri hemşirelerine önemli görev düşmektedir. Psikiyatri hemşiresi egzersizi, bakıma ek bir alternatif olarak değil, bütüncül bakımın ayrılmaz bir parçası olarak kabul etmelidir. Egzersizin bakıma tamamen entegre edilmesi ile birlikte remisyon oranlarının yükseleceği, komorbidite oranlarının düşeceği, ruhsal sağlık ve psikolojik iyi oluş düzeylerinin yükseleceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Buschert, V., Prochazka, D., Bartl, H., Diemer, J., Malchow, B., Zwanzger, P., & Brunnauer, A. (2019). Effects of physical activity on cognitive performance: a controlled clinical study in depressive patients. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience, 269*, 555-563.

Dantzer, R., O'Connor, J. C., Freund, G. G., Johnson, R. W., & Kelley, K. W. (2008). From inflammation to sickness and depression: when the immune system subjugates the brain. *Nature Reviews Neuroscience, 9*(1), 46-56.

Faulkner, G. ve Biddle, S. (2002). Ruh sağlığı hemşireliği ve fiziksel aktivitenin teşviki. *Psikiyatri ve Ruh Sağlığı Hemşireliği Dergisi , 9* (6), 659-665.

Firth, J., Rosenbaum, S., Stubbs, B., Gorczynski, P., Yung, A. R., & Vancampfort, D. (2016). Motivating factors and barriers towards exercise in severe mental illness: a systematic review and meta-analysis. *Psychological Medicine, 46*(14), 2869-2881.

Fuss, J., Steinle, J., Bindila, L., Auer, M. K., Kirchherr, H., Lutz, B., & Gass, P. (2015). A runner's high depends on cannabinoid receptors in mice. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 112*(42), 13105-13108.

Gleeson, M. (2007). Immune function in sport and exercise. *Journal of Applied Physiology.*

Kimhy, D., Vakhrusheva, J., Bartels, M. N., Armstrong, H. F., Ballon, J. S., Khan, S., Chang, R. W., Hansen, M. C., Ayanruoh, L., & Lister, A. (2015). The impact of aerobic exercise on brain derived neurotrophic factor and neurocognition in individuals with schizophrenia: a single-blind, randomized clinical trial. *Schizophrenia Bulletin, 41*, 859–868.

Lebiecka, Z., Łopuszko, A., Rudkowski, K., & Dańczura, E. (2019). Effects of physical activity on treatment of schizophrenia. *Archives of Psychiatry & Psychotherapy, 21*(1).

Petersen, A. M. W., & Pedersen, B. K. (2005). The anti-inflammatory effect of exercise. *Journal of Applied Physiology, 98*(4), 1154-1162.

Rosenbaum, S., Tiedemann, A., Sherrington, C., Curtis, J., & Ward, P. B. (2014). Physical activity interventions for people with mental illness: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Clinical Psychiatry, 75*(9), 14465.

Stubbs, B., Firth, J., Berry, A., Schuch, F. B., Rosenbaum, S., Gaughran, F., ... & Vancampfort, D. (2016). How much physical activity do people with schizophrenia engage in? A systematic review, comparative meta-analysis and meta-regression. *Schizophrenia Research, 176*(2-3), 431-440.

Suetani, S., Waterreus, A., Morgan, V., Foley, D. L., Galletly, C., Badcock, J. C., ... & McGrath, J. J. (2016). Psikotik hastalıkla yaşayan kişilerde fiziksel aktivitenin korelasyonları. *Acta Psychiatrica Scandinavica, 134*(2), 129-137.

T.C. Sağlık Bakanlığı. (2011). *Hemşirelik yönetmeliği* (Resmî Gazete Tarihi: 19.04.2011, Sayı: 27910). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/04/20110419-3.htm

Vancampfort, D., De Hert, M., Sweers, K., De Herdt, A., Detraux, J., & Probst, M. (2013). Diabetes, physical activity participation and exercise capacity in patients with schizophrenia. *Psychiatry and Clinical Neurosciences, 67*(6), 451-456.

Vancampfort, D., Firth, J., Schuch, F., Rosenbaum, S., De Hert, M., Mugisha, J., ... & Stubbs, B. (2016). Physical activity and sedentary behavior in people with bipolar disorder: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Affective Disorders, 201*, 145-152.

PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNDE FİZİKSEL AKTİVİTENİN ROLÜ: RUH SAĞLIĞINA BÜTÜNCÜL BİR YAKLAŞIM

THE ROLE OF PHYSICAL ACTIVITY IN PSYCHIATRIC NURSING: A HOLISTIC APPROACH TO MENTAL HEALTH

İsmailcan CABER

Graduate Student, Selcuk University, Institute of Health Sciences, Department of Psychiatric Nursing

cancaber15@gmail.com-**ORCID ID:** 0009-0009-7871-0823

Neslihan LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Nursing, Department of Psychiatric Nursing

neslihanlok@selcuk.edu.tr-**ORCID ID:** 0000-0003-1568-9659

Sefa LÖK

Prof. Dr., Selcuk University, Faculty of Sports Sciences, Department of Coach Education

sefalok@selcuk.edu.tr-**ORCID ID:** 0000-0001-9632-2888

ÖZET

Psikiyatri hemşireliği bireyi yalnızca ruhsal olarak değil fiziksel, biyolojik, ruhsal ve sosyal olmak üzere bütüncül olarak ele almaktadır. Bu bağlamda fiziksel aktivite ruhsal hastalıkların yönetiminde ve denetiminde önemli bir destekleyici faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Egzersiz, endorfin salınımını teşvik ederek ruh halini iyileştirir, enerji seviyesini yükseltir ve uyku düzenini destekler. Psikiyatri hemşireleri, bireyin ihtiyaçlarına uygun fiziksel aktivite programlarını teşvik ederek sağlıklı alışkanlıklar geliştirilmesine katkıda bulunabilir. Ayrıca, grup aktiviteleriyle sosyal etkileşimi artırmak ve bireyselleştirilmiş yaklaşımlarla hastanın fiziksel ve ruhsal iyiliğini desteklemek, tedavi sürecinde önemli bir yer tutar. Bu yaklaşım, ruh sağlığını sadece zihinsel değil, fiziksel ve sosyal boyutlarıyla ele alan bütüncül bir sağlık anlayışını yansıtır. Literatür incelendiğinde, düzenli fiziksel aktivitenin şizofreni, bipolar, depresyon, anksiyete gibi ruhsal bozuklukların semptomlarının azaltılmasında iyileştirici faktör olarak işlev yaptığı görülmektedir. Bu çalışmaların yapılmasında multidipliner yaklaşım da oldukça önem arz etmektedir. Fiziksel aktivite ruh sağlığına bütüncül yaklaşmakta olan psikiyatri hemşireleri için önemli bir etkendir ve fiziksel aktivite psikiyatri hastalarının semptomların hafiflemesinde ve yaşam kalitesinin artmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda fiziksel aktivitenin psikiyatri hemşireliğinde yapılandırılmış olarak kullanılması oldukça kıymetlidir. Bu derlemede, psikiyatri hemşireliğinde

fiziksel aktivitenin rolü ve ruh sağlığına bütüncül yaklaşım konusuna güncel kaynaklarla dikkat çekilmek istenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel Aktivite, Ruhsal Bozukluk, Psikiyatri Hemşireliği.

ABSTRACT

Psychiatric nursing deals with the individual not only mentally but also physically, biologically, psychologically and socially in a holistic manner. In this context, physical activity is an important supportive factor in the management and control of mental illnesses. Exercise improves mood by promoting the release of endorphins, increases energy levels and supports sleep patterns. Psychiatric nurses can contribute to the development of healthy habits by promoting physical activity programs tailored to the needs of the individual. In addition, increasing social interaction through group activities and supporting the patient's physical and mental well-being through individualized approaches play an important role in the treatment process. This approach reflects a holistic understanding of health that addresses mental health not only in its mental but also in its physical and social dimensions. When the literature is examined, it is seen that regular physical activity functions as a healing factor in reducing the symptoms of mental disorders such as schizophrenia, bipolar, depression and anxiety. Multidisciplinary approach is also very important in conducting these studies. Physical activity is an important factor for psychiatric nurses who have a holistic approach to mental health and physical activity plays an important role in alleviating the symptoms and improving the quality of life of psychiatric patients. In this context, the structured use of physical activity in psychiatric nursing is very valuable. In this review, it is aimed to draw attention to the role of physical activity in psychiatric nursing and holistic approach to mental health with current resources.

Keywords: Physical Activity, Mental Disorder, Psychiatric Nursing.

GİRİŞ

Fiziksel aktivite, ruh sağlığı alanında hastalıkların yönetiminde destekleyici ve tamamlayıcı bir tedavi yöntemi olarak önemli bir yer tutmaktadır. Ancak hem hastalar hem de aileleri tarafından fiziksel aktivitenin bu alandaki rolü çoğu zaman yeterince fark edilmemekte ya da göz ardı edilmektedir. Oysa fiziksel aktivite, yalnızca fizyolojik sağlığı desteklemekle kalmayıp, ruh sağlığının güçlendirilmesinde de önemli katkılar sunmaktadır. Bütüncül bakım anlayışını benimseyen psikiyatri hemşireleri, fiziksel aktiviteyi hemşirelik girişimlerinin ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirmekte ve bakım süreçlerine etkin biçimde entegre etmektedirler.

FİZİKSEL AKTİVİTE

Günlük yaşamda, kasları kullanarak yapılan ve enerji kullanılmasını gerektiren çeşitli her hareket fiziksel aktivite şeklinde tanımlanmaktadır (Türkiye Fiziksel Aktivite Rehberi 2014). Fiziksel aktivite olarak akla ilk olarak genellikle spor ve egzersiz gelmektedir. Egzersiz, düzenli olarak belli

aralıklarla yapılan fiziksel aktivite olarak tanımlanmaktadır. Spor ise, belirlenmiş kurallar doğrultusunda bireysel veya grup şeklinde yapılabilen fiziksel aktivitedir (Haskell ve ark 2000; Kayapınar ve ark 2012). Fiziksel aktivitede temel amaç enerji harcanmasıdır. Enerji harcanarak ev içinde veya dışında yapılabilecek her türlü işler, sporlar, egzersizler, hobiler, uğraşılar fiziksel aktivite kapsamına girmektedir (Kayapınar ve ark 2012).

FİZİKSEL AKTİVİTENİN SAĞLIK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Fiziksel aktivitenin başlıca yararları arasında vücut esnekliği ve kas gücünün artırılması, kardiyovasküler sistemin dayanıklılığının geliştirilmesi ile zihinsel ve psikolojik sağlığın desteklenmesi yer almaktadır. Ayrıca düzenli fiziksel aktivite ile birlikte insanların gerginliklerinin azaldığı, kendilerini daha zinde hissettikleri belirtilmiştir (Tunay ve Tedavi 2008). Fiziksel aktiviteye bağlı olarak; endorfin, norepinefrin, dopamin ve serotonin gibi nörokimyasal maddelerin salınımında artış meydana gelmektedir. Bu biyokimyasal değişiklikler, gevşeme hissinin oluşmasına, ruh halinin iyileşmesine ve depresif semptomların azalmasına önemli ölçüde katkı sağlamaktadır (Ströhle 2009). Ayrıca fiziksel aktivite dolaylı olarak vücutta gevşemeye yol açan asetilkolinin de salınmasını uyarabilmektedir (Callaghan 2004). Bunlara ek olarak fiziksel aktivitenin sağlık üzerinde etkileri olarak; Tip 2 diyabete olumlu etkileri, kemik gücünün artırılması, osteoporoz riskinde azalma, koroner kalp hastalıklarının şiddetinde azalma, obezite riskinde azalma olarak sayılabilmektedir (Babic ve ark. 2014).

FİZİKSEL AKTİVİTENİN RUH SAĞLIĞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Fiziksel aktivitenin ruhsal sağlığını iyileştirebildiği, anksiyete, depresyon ve diğer bozuklukların oluşmasının önlenmesinde ve tedavisinde etkili bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir (Babic ve ark 2014). Fiziksel aktivitenin ruh sağlığı üzerindeki olumlu etkileri oldukça fazladır. Örneğin fiziksel aktivitenin ruh hali, öz saygı ve stres ile anksiyete düzeyleri üzerinde olumlu yönde değişimlere yol açan çeşitli fizyolojik mekanizmaları harekete geçirebildiğini göstermektedir. Günlük yaşamda; bisiklete binme, yürüyüş yapma, koşma, dans etme, bahçe ile uğraşma, yüzme gibi yapılabilecek basit uygulamaların bunalım ve endişenin azaltılmasında oldukça büyük bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Ancak bu fiziksel aktivitelerden alınabilecek en iyi verimi alabilmek için haftada en az 3 defa 15-30 dakika arasında yapılması ve minimum 10 hafta boyunca devam edilmesinin gerekliliği üzerinde durulmuştur. Çalışmalar sonucunda bu aktiviteleri uygulayan ruhsal bozukluk tanısı almış bireylerde, depresyon gibi psikiyatrik semptomlarda azalma gözlemlenmiştir (Guszkowska 2004).

PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİNDE FİZİKSEL AKTİVİTE

Psikiyatri hemşiresi, birey, aile ve toplumun biyopsikososyal açıdan bakımını ve refahını sağlamayı hedefleyen meslek grubudur. Bu doğrultuda özellikle ruhsal hastalığa sahip bireyler için çok daha önemli hale gelen fiziksel aktivitenin teşviki ve uygulanmasında da yine psikiyatri hemşirelerine önemli bir sorumluluk düşmektedir. Fiziksel aktivite, yaygın olarak hastalık

risklerinin azaltılması, hastalıkların yönetimi ve iyileşmenin sağlanması ile bireysel refahın artırılmasında önemli bir davranışsal araç olarak kabul edilmektedir. Ancak, ruhsal hastalıkları olan bireyler genel popülasyona kıyasla daha düşük düzeyde fiziksel aktivite göstermektedir. Psikiyatri hemşireleri, ruhsal hastalığı olan bireyler için günlük ruhsal sağlık bakımına fiziksel aktiviteyi yerleştirmede güçlü bir liderlik sağlayabilmektedir. Psikiyatri hemşireleri, ruhsal hastalığı olan bireyler için fiziksel aktivite temelli bakımı, farklı düzeylerde ve bireyin de içinde bulunduğu çok çeşitli disiplinlerle iş birliği içinde yürütebilmektedirler. Bu bağlamda psikiyatri hemşireleri, hem fiziksel aktivitenin ruh sağlığı alanındaki yerini güçlendirmede hem de bu alandaki kanıta dayalı uygulamalara öncülük etmede önemli bir rol üstlenebilmektedirler. Fiziksel aktivite, ruhsal hastalığa sahip bireyler için yalnızca tamamlayıcı bir hizmet değil; bütüncül bakım anlayışının ayrılmaz bir parçası olarak ele alınmakta ve psikiyatri hemşireliği kimliği içinde kurumsallaşmaktadır (Happell ve ark 2011).

SONUÇ

Kaygı, depresyon ve stres gibi ruh sağlığı bozuklukları genellikle farmakolojik tedaviler ve psikoterapötik müdahalelerle yönetilebilmektedir. Ancak bazı bireyler, bu geleneksel yaklaşımlara ek olarak fiziksel aktivite gibi alternatif yöntemleri de tercih etmektedir. Bu bağlamda, fiziksel aktivitenin anksiyete, depresyon ve stres belirtilerini hafifletme potansiyeline sahip olduğuna dair giderek artan sayıda bilimsel kanıt bulunmaktadır. Fiziksel aktivitenin psikolojik iyilik halini artırmada ve ruhsal sağlık sonuçlarının iyileştirilmesine katkı sağlayabilecek etkili bir koruyucu ya da tamamlayıcı tedavi seçeneği olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

Babic, M. J., Morgan, P. J., Plotnikoff, R. C., Lonsdale, C., White, R. L., & Lubans, D. R. (2014). Physical activity and physical self-concept in youth: Systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine, 44*, 1589–1601.

Callaghan, P. (2004). Exercise: a neglected intervention in mental health care? *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing, 11*(4), 476–483.

Guszkowska, M. (2004). Egzersizin kaygı, depresyon ve ruh hali üzerindeki etkileri. *Psychiatria Polska, 38*(4), 611–620.

Happell, B., Platania-Phung, C., & Scott, D. (2011). Placing physical activity in mental health care: A leadership role for mental health nurses. *International Journal of Mental Health Nursing, 20*(5), 310–318.

Haskell, W. L., & Kiernan, M. (2000). Fiziksel olarak aktif kişiler için diyet takviyelerinin rolünü değerlendirirken fiziksel aktivite ve fiziksel zindeliği ölçmede metodolojik sorunlar. *Amerikan Klinik Beslenme Dergisi, 72*(2), 541S–550S.

Kayapinar, F. C. (2012). Physical activity levels of adolescents. *Procedia - Social and Behavioral Sciences, 47,* 2107–2113.

Ströhle, A. (2009). Physical activity, exercise, depression and anxiety disorders. *Journal of Neural Transmission, 116,* 777–784.

Tunay, V. B., & Tedavi, F. (2008). Yetişkinlerde fiziksel aktivite. *Sağlık Bakanlığı Yayını*, 16s., Ankara.

Türkiye Fiziksel Aktivite Rehberi. (2014). *Türkiye Halk Sağlığı Kurumu, Sağlık Bakanlığı Yayın No: 940*, Ankara.

OBEZİTE VE EGZERSİZ

Batuhan KARADUMAN
Karamanoğlu Mehmetbet Üniversitesi / Spor Bilimler Fakültesi,
bkaraduman@kmu.edu.tr - 0000-0002-0487-1618

Prof. Dr. Sefa LÖK
Selçuk Üniversitesi / Spor Bilimleri Fakültesi,
sefalok@gmail.com - ORCID ID

ÖZET

Obezite, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde prevalansı hızla artan kronik bir hastalıktır. Her yıl dört milyon ölüm ve 120 milyon sağlık sorunuyla ilişkilendirilen obezite, küresel sağlık harcamalarında yaklaşık 2 trilyon dolarlık bir yüke neden olmaktadır. Geleneksel olarak beden kitle indeksi (BKİ) ≥30 kg/m² ile tanımlansa da, artmış yağlanma kardiyometabolik komplikasyonların daha iyi bir göstergesidir. Edmonton Obezite Evreleme Sistemi (EOES), fiziksel ve zihinsel bozulmaları dikkate alarak BKİ'den daha kapsamlı bir değerlendirme sunar. Obezite, genetik yatkınlık ve çevresel faktörlerin (kalorisi yüksek gıdalara erişim, azalan fiziksel aktivite) etkileşimiyle ortaya çıkar. Kadınlarda ve sosyodemografik indeksi yüksek ülkelerde daha yaygındır; ancak düşük gelirli ülkelerde de artış dikkat çekicidir. Obezite; tip 2 diyabet, hipertansiyon, uyku apnesi ve kardiyovasküler hastalıklar gibi çok sistemli sağlık sorunlarına yol açar. %5-10 oranında kilo kaybı, bu hastalıkların önlenmesinde etkilidir; %10'un üzerinde kayıp ise bazı durumları tersine çevirebilir. Egzersiz, obeziteyle mücadelede temel bir bileşendir. Aerobik egzersizler yağ yakımını teşvik eder, direnç egzersizleri kas kütlesini korur, es regimentleri psikolojik iyilik halini destekler. Diyetle kombine edilen egzersiz programları, yalnızca diyete veya egzersize kıyasla daha fazla kilo kaybı sağlar. Bireyselleştirilmiş, sürdürülebilir egzersiz ve yaşam tarzı değişiklikleri, obeziteyle mücadelede uzun vadeli başarı için kritik öneme sahiptir. Gelecekteki çalışmalar, genetik ve çevresel faktörlerin etkileşimini daha derinlemesine incelemelidir.

Anahtar Kelimeler : Obezite, Egzersiz, Edmonton Obezite Evreleme Sistemi, Tip 2 diyabet

1. GİRİŞ

Obezite hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yaygınlığı artan kronik bir hastalıktır. Artan yağlanma her yıl dört milyon insanın ölümüne ve 120 milyon insanın obezite kaynaklı sağlık problemleri yaşamasına neden olmaktadır (Afshin ve ark 2017). Obezitenin sağlık harcamaları dünya genelinde yaklaşık olarak 2 trilyon ABD doları olarak tahmin edilmiştir (Tremmel ve ark 2017). Dünya genelinde yapılan son tahminler, yaklaşık 108 milyon çocuğun (%5) ve 604 milyon yetişkinin (%12) obez olduğunu göstermektedir (Afshin ve ark 2017). Obezite yaygınlığı, 1980 ile 2015 yılları arasında 70'ten fazla ülkede iki katına çıkmıştır. Obezite yaygınlığı genellikle kadınlarda erkeklere göre daha yüksek, 14 yaşından sonra yaşla birlikte artmakta ve sosyodemografik indeksi yüksek ülkelerde daha fazladır. Ancak, 1980'den bu yana, sosyodemografik indeksi düşük ülkelerde obezite yaygınlığı 1,7 kat artmış, özellikle 25-29 yaş arası genç erkeklerde bu artış görülmüştür. Obezite ile ilişkili hastalıkların yaygınlığı da obezite pandemisi sırasında artmıştır (Afshin ve ark 2017, Tremmel ve ark 2017).

2. OBEZİTENİN TANIMI

Obezite, geleneksel olarak 30 kg/m² üzerinde bir beden kitle indeksi (BKİ) ile tanımlanmıştır, 27-30 kg/m² arası BKİ ise fazla kilolu olarak kabul edilir. Artan BKİ genellikle çeşitli komplikasyonların riskini artırır, ancak bu ilişki her zaman doğrusal değildir ve bu komplikasyonların ortaya çıkış eşiği değişkendir. BKİ, her zaman artmış yağlanmayı yansıtmaz ve vücut yağ dağılımını da göstermez, ki artmış yağlanma kardiyometabolik komplikasyonlarının daha iyi bir göstergesidir (Lotta ve ark 2017, Lotta ve ark 2018). Bazı etnik gruplar, daha düşük bir BKİ'de bile artmış yağlanma ile ilişkili komplikasyonlar geliştirebilir (Gujral ve ark 2013, Ma ve Chan 2013). Bu nedenle, obezitenin zihinsel ve fiziksel sağlığı olumsuz etkileyen artmış yağlanma durumu olarak tanımlanması önerilmiştir. Edmonton Obezite Evreleme Sistemi (EOES; Tablo 1), fiziksel ve zihinsel bozulma derecesini dikkate alarak yönetim önerileri sunar ve BKİ'den daha iyi bir obezite skalası olarak kabul edilir (Sharma ve Kushner 2009). Gelecekte, EOES gibi evreleme sistemleri ile hala BKİ eşiklerini kullanan kilo kaybı tedavi rehberleri arasında daha iyi bir uyum sağlanmalıdır; bu, adipozite ile ilişkili hastalıkların yükünü azaltmaya yardımcı olacaktır. EOES evrelemesinde kullanılan hastalıkların seyri ve tedaviye nasıl yanıt verdiği üzerine daha fazla araştırma da bilgilendirici olacaktır. Örneğin, tip 2 diyabet (T2D) için, altta yatan etiyoloji ve önleme ve tedavi için gerekli kilo kaybı miktarı konusunda verilere sahibiz (Knowler ve ark 2002). Ancak, kalp yetmezliği ve osteoartrit gibi diğer durumlar için bu durum şu anda geçerli değil. Bu tür bilgileri elde etmek, özellikle EOES'in ileri evrelerinde olanlar için kilo kaybının daha zor olabileceği durumlarda, önleme ve tedavi müdahalelerini bilgilendirmeye yardımcı olabilir. EOSS ile ilgili bir diğer önemli nokta ise, evreleme için kullanılan bazı hastalıkların, örneğin mental sağlık durumlarının, kilo kaybı ile mutlaka iyileşme göstermeyebileceğidir (Morgan ve ark 2020).

SEVİYE	TANIM	TEDAVİ YÖNTEMİ
0	Görünürde obezite ile ilgili risk faktörleri yok (örneğin, kan basıncı, serum lipidleri, açlık glikozu vb. normal aralıkta), fiziksel semptomlar yok, psikopatoloji yok, işlevsel kısıtlamalar ve/veya iyi olma durumunun bozulması yok.	Vücut ağırlığının artmasına katkıda bulunan faktörlerin belirlenmesi. Sağlıklı beslenme ve artırılmış fiziksel aktivite gibi yaşam tarzı önlemleriyle daha fazla kilo alımını önlemek için danışmanlık.
1	Obezite ile ilgili subklinik risk faktörlerinin varlığı (örneğin, sınırda hipertansiyon, bozulmuş açlık glikozu, yükselmiş karaciğer enzimleri vb.), hafif fiziksel semptomlar (örneğin, orta derecede eforla nefes darlığı, zaman zaman ağrılar ve sızılar, yorgunluk vb.), hafif psikopatoloji, hafif işlevsel kısıtlamalar ve/veya iyi olma durumunun hafif derecede bozulması.	Risk faktörlerine katkıda bulunan diğer (kilo ile ilgili olmayan) faktörlerin araştırılması. Daha yoğun yaşam tarzı müdahaleleri, kilo alımını önlemek için diyet ve egzersiz dahil. Risk faktörlerinin ve sağlık durumunun izlenmesi.
2	Obezite ile ilişkili kronik hastalığın varlığı (örneğin, hipertansiyon, T2D, uyku apnesi, osteoartrit, reflü hastalığı, polikistik over sendromu, anksiyete bozukluğu vb.), günlük yaşam aktivitelerinde ve/veya iyi olma halinde orta derecede kısıtlamalar,	Obezite tedavilerinin başlatılması, davranışsal, farmakolojik ve cerrahi tedavi seçeneklerinin tümünün dikkate alınması. Gerekli olduğunda, hastalıkların yakın takibi ve yönetimi.
3	Miyokardiyal infarktüs, kalp yetmezliği, diyabetik komplikasyonlar, kapasiteyi azaltan osteoartrit, önemli psikopatoloji, önemli işlevsel kısıtlamalar ve/veya iyi olma halinin önemli ölçüde bozulması gibi organ hasarının varlığı.	Daha yoğun obezite tedavisi, tüm davranışsal, farmakolojik ve cerrahi tedavi seçeneklerinin dikkate alınmasını içerir. Gerekli olduğunda, hastalıkların agresif yönetimi.
4	Obezite ile ilgili kronik hastalıklardan kaynaklanan ciddi (potansiyel olarak son evre) sakatlıklar, ciddi derecede engelleyici psikopatoloji, ciddi işlevsel kısıtlamalar ve/veya iyi olma halinin ciddi şekilde bozulması.	Uygun görüldüğü şekilde agresif obezite yönetimi. Ağrı yönetimi, mesleki terapi ve psikososyal destek gibi palyatif önlemler.

Tablo 1: Edmonton Obezite Evreleme Sistemi (Sharma ve Kushner 2009)

3. OBEZİTE KRONİK BİR HASTALIK MIDIR?

Artmış yağ oranına sahip bireyler genellikle yaşam boyu bu yağ oranını düşürmeye çalışırlar; bu süreçteki yöntemler, yaşam tarzı değişikliklerinin genellikle farmakoterapi ve/veya cerrahi ile desteklendiği bir süreçtir (Peirson ve ark 2015). Bu önlemlere rağmen kilo geri kazanımı çok yaygındır ve bu durumun kronik doğasını gösterir. Kilo alımı irade eksikliğine bağlanmış olsa da, mevcut kanıtlar, kilo kaybına karşı endokrin adaptasyonların kişiyi kilo geri kazanımına eğilimli hale getirdiğini öne sürmektedir (Sumithran ve ark 2011). Ayrıca, bu endokrin bozuklukların bazılarını düzeltmenin besin alımını ve enerji harcamasını etkileyebileceğine dair kanıtlar vardır (Rosenbaum ve ark 2008). Genetik faktörlerin çevresel faktörler ile etkileşimi, diğer kronik hastalıklar olan hipertansiyon ve T2D'ye benzer şekilde, obeziteye yatkınlığı da artırabilir ya da önüne geçebilir. Kronikliği, bilinen biyolojik temelleri ve kilo kaybı ile hafifleyen komplikasyonlarla olan ilişkisi nedeniyle, obezite artık giderek kronik bir hastalık olarak kabul edilmektedir (Worl Health Organization, 2000).

3.1. Obeziteye Neden Olan Faktörler

Vücut ağırlığı hem genetik faktörler hem de çevresel etkenler tarafından etkilenir. İkiz ve aile çalışmaları, yağlanmanın yaklaşık %40 ila %70'lik bir kalıtım oranına sahip olduğunu öne sürer (O'rahilly ve Farooqi 2008). Ancak, genetik olarak aynı obezite riski olasılığına rağmen son yıllarda BKİ hızlı bir artış göstermiştir (Walter ve ark 2016). Bu da çevresel faktörlerin, özellikle genetik olarak yatkın olanlarda, son obezite pandemisinin ana itici gücü olduğunu güçlü bir şekilde göstermektedir (Pigeyre ve ark 2016). Sosyoekonomik faktörler obezitenin belirleyicileri olsa da, dünya genelinde obezite oranındaki artış, kalorisi yüksek ve rafine gıda ürünlerine artan pazarlama ve erişim ile kentselleşmeye bağlı azalan fiziksel aktivite gibi faktörlerin önemli katkıda bulunanlar olduğunu düşündürmektedir (Afshin ve ark 2017, Tremmel ve ark 2017).

Kadınlarda, özellikle gebelik sırasında obezitenin artması, çocuklarda obezite riskini artırabilir (Kunath ve ark 2019). Anne obezitesi ve hiperglisemi, çocuklarda uzun vadeli etkilerle, özellikle obezite ve T2D ile ilişkilidir (Nedelec ve ark 2021). Doğum öncesi ve sonrası dönemde kilo alımını azaltmanın çocuklar üzerinde uzun vadeli etkileri olup olmadığı, devam eden bir araştırma alanıdır (Kunath ve ark 2019). Orta düzeyde anne fiziksel aktivitesinin, kilonun

değişiminden bağımsız olarak glisemi üzerinde iyileştirici etkisi olabilir (Harrison ve ark 2016) ve bu aktivitenin çocuk sağlığı üzerindeki uzun vadeli etkileri hala belirlenmeyi bekliyor.

4. OBEZİTENİN NEDEN OLDUĞU SAĞLIK SORUNLARI

Obezite, çok sistemli bir hastalıktır (Tablo 2). Obezite ile bu sağlık sorunlarının birçoğu arasındaki nedensel ilişki göz önüne alındığında, kilo kaybı bazı problemleri azaltabilir veya önleyebilir. Klinik denemelerde, az miktarda bir kilo kaybı (yüzde 5-10) subklinik hastalığı olan yüksek riskli bireylerde T2D'yi önleyebilir (Knowler ve ark 2002). Yakın zamanda yapılan bir meta-analiz, %5 ila %10 arası kilo kaybının T2D insidansını %38 oranında azalttığını raporlamıştır (Peirson ve ark 2014). Ayrıca, davranışsal ve farmakolojik müdahalenin kombinasyonu kilo kaybını sürdürebilir (Peirson ve ark 2015). Bu veriler, yüksek riskli bireylerde düşük miktarda kilo kaybının bile, diğer obezite ile ilişkili sağlık sorunlarının yükünü azaltmaya yardımcı olabileceğini düşündürmektedir.

Halihazırda obezite kaynaklı sağlık sorunlarına sahip olanlarda, hipokalorik diyet ve bariatrik cerrahi yoluyla %10'dan fazla kilo kaybıyla, T2D, obstrüktif uyku apnesi (OSA), gastro-özofageal reflü ve hipertansiyon gibi durumları iyileştirebilir veya başarıyla tersine çevrilebilir, ancak hastalık süresinin uzunluğu ile T2D remisyonu daha az olasıdır (Lean ve ark 2019, Singh ve ark 2013, Aminian ve ark 2020, Foster ve ark 2009).

Birçok obezite ile ilişkili sağlık sorunlarının patofizyolojisine dayanarak, çocuklarda ve genç yetişkinlerde obeziteyi önlemenin obezite ile ilişkili sağlık sorunlarını azaltacağını öngörmek de mantıklıdır. Özellikle çocuklar ve genç yetişkinlerde obeziteyi önlemek için birçok davranışsal ve yaşam tarzı stratejisi kullanılmıştır, ancak yakın zamanda yapılan bir meta-analizde bildirildiği gibi, genellikle başarılı olmamışlardır (Peirson ve ark 2015). Davranışsal ve yaşam tarzı stratejilerine ek olarak obezitenin sosyal, çevresel ve ekonomik itici güçlerini hedefleyen bir yaklaşımın da obezite ile mücadele için uygulanması gerekmektedir (Sarma ve ark 2021).

Özetle, hastalık seyrinin erken dönemlerinde elde edilen kilo kaybı, bazı obezite ile ilişkili sağlık problemlerini önleyebilir ve/veya tersine çevirebilir. Bu nedenle, davranışsal, farmakolojik ve/veya cerrahi tedavi dahil olmak üzere etkili kilo kaybı tedavisine zamanında erişim, halk sağlığı açısından en önemli önceliklerden biri olmalıdır.

SAĞLIK PROBLEMİ	MEKANİZMA	KİLO VEREREK ÖNLENEBİLME DURUMU	KAYNAK
T2D	İnsülin direnci ve β-hücre disfonksiyonu. Ektopik lipid birikimi, potansiyel olarak iltihaplanma ve endoplazmik retikulum stresi aracılığıyla meydana gelir.	Evet, %5-10 arası kilo kaybı, prediyabeti olanlarda T2D'yi önleyebilir. %10'dan fazla kilo kaybı T2D'yi remisyonda bırakabilir.	Lean ve ark 2019, Schauer ve ark 2017, Taylor ve ark 2018
NAFLD/ NASH	Ektopik lipid birikimi. İltihaplanma, genetik faktörler, değişmiş safra asidi kompozisyonu ve bağırsak mikrobiyotası nedeniyle ilerleyebilir.	Evet, %10'dan fazla kilo kaybı NASH histolojisini iyileştirmede etkilidir.	Semple ve ark 2009, Sanyal 2019, Vilar-Gomez ve ark 2015, O'Neil ve ark 2018
Dislipidemi	İnsülin direnci / hiperinsülinemi	Evet, %5-10 arası kilo kaybı insülin direncine karşı etkilidir.	Ikramuddin ve ark 2013, Vilar-Gomez ve ark 2015
Hipertansiyon	Sempatik sinir sistemi aktivasyonunda artış, uyku apnesi.	Evet, kilo kaybı hipertansiyona karşı etkilidir.	Ikramuddin ve ark 2013
Uyku apnesi	Mekanik nedenler, merkezi sinir sistemi fonksiyon bozuklukları.	Evet, kilo kaybı uyku apnesine karşı etkilidir.	Ashrafian ve ark 2015
Kardiyovasküler hastalıklar	Hipertansiyon, kolestrol, insülin direnci, uyku apnesi, şeker gibi hastalıklardan dolayı meydana gelir.	Evet, kilo kaybı kardiyovasküler hastalıklara yakalanma riskini azaltır.	Ndumele ve ark 2016, Aminian ve ark 2020, Singh ve ark 2013
Gastro özofajial Reflü	Mekanik nedenler.	Evet, yaşam tarzı değişiklikleriyle birlikte en az %10 kilo kaybı reflüye karşı etkilidir.	Singh ve ark 2013, Yeung ve ark 2020
Üreme	İnsülin direnci, cinsiyet hormonlarında bozulma, Aromatizasyon enziminde artış	Kilo vermek kadınlarda polikistik over sendromu ve erkeklerde hipogonadizm rahatsızlarına karşı etkilidir.	Skubleny ve ark 2016, Corona ve ark 2013

Mental sağlık	Mekanik nedenler	Dolaylı yoldan etkiliyor olabilse de direkt olarak etkilememektedir.	Runhaar ve ark 2015, Runhaar ve ark 2016

5. OBEZİTEYLE MÜCADELEDE EGZERSİZ

Herhangi bir kilo verme çabasının temeli, güç antrenmanıyla birlikte haftalık en az 150 dakikalık orta yoğunluklu dayanıklılık egzersizi içeren bir egzersiz hedefi olmalıdır (Semlitsch ve ark 2019). Başarılı bir şekilde kilo verildikten sonra, uzun vadeli kilo koruma için yaşam tarzı değişikliği, her hafta egzersizi 300 dakikaya çıkarmayı içerir ve bu, obezitesi olan birçok kişi için sürdürülebilir değildir. Diğer öneriler arasında egzersiz hedeflerinin bireyin fiziksel yeteneklerine ve tercihlerine göre uyarlanması, hareketsiz davranışların azaltılması (örneğin televizyon izleme, bilgisayar kullanımı) ve günlük aktivitelerin artırılması (örneğin yürüme, bisiklete binme, merdiven çıkma ve bahçe işleri) yer alır (Semlitsch ve ark 2019).

Bir meta-analiz, diyet ile birlikte yapılan kombine egzersizlerin kilo verme konusunda ek fayda sağladığını göstermiştir (Johns ve ark 2014). 12 ayda, kombine programlar sırasıyla yalnızca diyet veya yalnızca egzersiz müdahalelerine kıyasla ortalama -1,72 kg ve -6,29 kg fark göstermiştir. Bu nedenle egzersiz, kalori kısıtlamasıyla birlikte düşünülmelidir. Bu sonuçlar, egzersizin kilo verme programlarının temel bir bileşeni olarak önemini vurgulamaktadır. Kilo kaybına ek olarak, fiziksel aktivitenin kardiyovasküler olay riskini azaltma, fiziksel işlevi, hareketliliği ve yaşam kalitesini iyileştirme gibi diğer sağlık yararları da olduğu bilinmektedir (Bray ve ark 2016, Bischoff ve Schweinlin 2020) Çin'in Da Qing kentinde yapılan bir çalışmada gösterildiği gibi, diyet, egzersiz veya bunların kombinasyonuyla elde edilen kilo kaybı, bozulmuş glikoz toleransı olan bireylerde T2D insidansını da önemli ölçüde azaltmıştır Pan ve ark (1997) yaptığı çalışmada 6 yıllık bir takip boyunca, kontrol grubunda %67,7'ye, diyet grubunda %43,8'e, egzersiz grubunda %41,1'e ve diyet artı egzersiz grubunda %46,0'a T2D teşhisi konmuştur. Benzer şekilde, Diyabet Önleme Programı klinik çalışması, Amerika Birleşik Devletleri'nde prediyabetli bireylerde diyabet insidansında bir azalma olduğunu göstermiştir. Knowler ve ark (2002) yaptıkları çalışmada, ortalama 2,8 yıllık bir takip süresince, yaşam tarzı müdahalesiyle diyabet vakalarında plaseboya kıyasla %58'lik bir azalma bildirildi ve bu oran 10 yıllık takipte %34'e düştü. Dahası, plasebo

çıkarıldığında 5,5 kg'lık bir kilo kaybı 10 yıl sonra büyük ölçüde geri alındı (Knowler ve ark 2009) ve bu Da Qing çalışmasında elde edilen sonuçla karşılaştırılabilir bir sonuçtu. Bu iki çalışmanın uzun vadeli sonuçları sürdürülmese bile orta düzeyde bir kilo kaybının, özellikle diyabet riskini azaltmada, uzun vadeli faydaları olabileceğini vurgulamaktadır. Ayrıca yaşam tarzı değişikliğiyle elde edilen kilo kaybının geçici etkisini göstermiş ve uzun vadeli kilo kaybının sürdürülmesinin önemini vurgulamışlardır.

5.1. Obeziteyle Mücadelede Egzersiz Türlerinin Rolü

Egzersiz türleri genellikle aerobik, direnç (kuvvet) ve esneklik egzersizleri olarak sınıflandırılır. Bu metin, farklı egzersiz türlerinin obezite ve kilo verme üzerindeki etkilerini, akademik literatürden elde edilen bulgular ışığında kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır.

Aerobik egzersizler, koşu, bisiklet sürme, yüzme ve tempolu yürüyüş gibi kalp atış hızını artıran aktiviteleri içerir. Bu egzersizler, enerji harcamasını yükselterek yağ yakımını teşvik eder ve obeziteyle mücadelede etkili bir yöntemdir. Jakicic ve ark (2019), obez bireylerde aerobik egzersizin etkisini inceledikleri bir çalışmada, haftada 150-300 dakika orta yoğunluklu aerobik aktivitenin yağ kütlesinde anlamlı bir azalma sağladığını rapor etmişlerdir (Jakicic ve ark 2019). Benzer şekilde, Donnelly ve ark (2003), aerobik egzersizin kilo kaybını desteklediğini ve kardiyovasküler risk faktörlerini azalttığını ortaya koymuşlardır (Donnelly ve ark 2003). Aerobik egzersizlerin insülin duyarlılığını artırarak metabolik sağlığı iyileştirdiği de bilinmektedir (Boulé ve ark 2001). Ancak, bu tür egzersizlerin etkinliği bireyin yaşı, kilosu ve fiziksel kapasitesine göre değişebilir.

Direnç egzersizleri, ağırlık kaldırma, şınav veya squat gibi kas kütlesini artıran aktiviteleri kapsar. Bu egzersizler, doğrudan kalori yakımından ziyade bazal metabolizma hızını artırarak obeziteye karşı uzun vadeli bir koruma sağlar. Villareal ve ark (2017), obez yaşlı bireylerde direnç egzersizlerinin kas kütlesini korurken yağ kaybını desteklediğini bulmuşlardır (Villareal ve ark 2017). Strasser ve ark (2010) ise direnç egzersizlerinin metabolik sendromlu bireylerde yağ oranını azalttığını ve kas gücünü artırdığını göstermiştir (Strasser ve ark 2010). Ayrıca, Hunter ve ark (2012), direnç egzersizlerinin yaşa bağlı kas kaybını önleyerek obezite riskini azalttığını

belirtmişlerdir (Hunter ve ark 2012). Bu bulgular, direnç egzersizlerinin aerobik egzersizlerle birlikte kullanıldığında obezite tedavisinde daha etkili olduğunu göstermektedir.

Esneklik egzersizleri, yoga, pilates veya germe hareketleri gibi aktiviteleri içerir ve genellikle kilo kaybından çok hareket kabiliyetini artırmaya odaklanır. Ancak, bu egzersizlerin obezite üzerindeki dolaylı etkileri de dikkat çekicidir. Ross ve ark (2016), yoga temelli esneklik egzersizlerinin stresle ilişkili yeme davranışlarını azalttığını ve kilo yönetimine katkı sağladığını bildirmiştir (Ross ve ark 2016). Benzer bir şekilde, Cramer ve ark (2014), yoganın obez bireylerde beden farkındalığını artırarak sağlıklı beslenme alışkanlıklarını teşvik ettiğini ortaya koymuşlardır (Cramer ve ark 2014). Esneklik egzersizlerinin psikolojik faydaları, özellikle duygusal yeme gibi obeziteyi tetikleyen faktörlerle mücadelede önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, tek başına esneklik egzersizlerinin kilo verme üzerindeki etkisi sınırlıdır ve genellikle diğer egzersiz türleriyle kombinasyon halinde önerilir.

Egzersiz türlerinin obeziteyle mücadeledeki etkinliğini artırmak için bireysel farklılıklar ve program tasarımı kritik öneme sahiptir. Örneğin, Willis ve ark (2012), aerobik ve direnç egzersizlerinin kombinasyonunun obez bireylerde hem yağ kaybını hem de kas kütlesini korumayı optimize ettiğini bulmuşlardır (Willis ve ark 2012). Öte yandan, Swift ve arkadaşları (2014), egzersiz yoğunluğunun kilo kaybı üzerindeki etkisini incelemiş ve yüksek yoğunluklu aerobik egzersizlerin daha fazla kalori yakımı sağladığını rapor etmişlerdir (Swift ve ark 2014). Ayrıca, egzersiz programlarının sürekliliği ve bireysel uyumu da sonuçları doğrudan etkiler. Örneğin, King ve arkadaşları (2009), uzun süreli egzersiz alışkanlıklarının obeziteyle mücadelede daha kalıcı sonuçlar doğurduğunu vurgulamışlardır (King ve ark 2009).

Sonuç olarak, aerobik egzersizler kısa vadede kilo kaybı ve enerji harcaması için etkiliyken, direnç egzersizleri kas kütlesini koruyarak uzun vadeli metabolik faydalar sağlar. Esneklik egzersizleri ise psikolojik iyilik halini destekleyerek dolaylı bir katkı sunar. Obeziteyle mücadelede en iyi sonuçlar, bu egzersiz türlerinin bireysel ihtiyaçlara göre birleştirildiği ve düzenli uygulandığı programlarla elde edilir. Gelecekteki çalışmalar, egzersiz türlerinin genetik faktörler ve yaşam tarzıyla etkileşimini daha derinlemesine inceleyerek bu alandaki bilgi birikimini genişletebilir.

6. KAYNAKLAR

Afshin A, Reitsma MB, Murray CJ, 2017. Health effects of overweight and obesity in 195 countries. *The New England journal of medicine*, *377*(15), 1496-7.

Aminian A, Vidal J, Salminen P, Still CD, Nor Hanipah Z, Sharma G, Mahawar K, 2020. Late relapse of diabetes after bariatric surgery: not rare, but not a failure. *Diabetes care*, *43*(3), 534-540.

Ashrafian H, Toma T, Rowland SP, Harling L, Tan A, Efthimiou E, Athanasiou T, 2015. Bariatric surgery or non-surgical weight loss for obstructive sleep apnoea? A systematic review and comparison of meta-analyses. *Obesity surgery*, *25*, 1239-50.

Bischoff SC, Schweinlin A, 2020. Obesity therapy. *Clinical nutrition ESPEN*, *38*, 9-18.

Boulé NG, Haddad E, Kenny GP, Wells GA, Sigal RJ, 2001. Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis of controlled clinical trials. *JAMA*, 286(10), 1218-27.

Bray GA, Frühbeck G, Ryan DH, Wilding JP, 2016. Management of obesity. *The Lancet*, *387*(10031), 1947-56.

Corona G, Rastrelli G, Monami M, Saad F, Luconi M, Lucchese M, Maggi M, 2013. Body weight loss reverts obesity-associated hypogonadotropic hypogonadism: a systematic review and meta-analysis. *European journal of endocrinology*, *168*(6), 829-43.

Cramer H, Lauche R, Langhorst J, Dobos G, 2014. Yoga for weight loss: A systematic review. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 20(5), 321-9.

Donnelly JE, Hill JO, Jacobsen DJ, Potteiger J, Sullivan DK, 2003. Effects of a 16-month randomized controlled exercise trial on body weight and composition in young, overweight men and women. *Archives of Internal Medicine*, 163(11), 1343-50.

Foster GD, Borradaile KE, Sanders MH, Millman R, Zammit G, Newman AB, 2009. A randomized study on the effect of weight loss on obstructive sleep apnea among obese patients with type 2 diabetes: the Sleep AHEAD study. *Archives of internal medicine*, *169*(17), 1619-26.

Gujral UP, Pradeepa R, Weber MB, Narayan KV, Mohan V, 2013. Type 2 diabetes in South Asians: similarities and differences with white Caucasian and other populations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1281*(1), 51-63.

Harrison AL, Shields N, Taylor NF, Frawley HC, 2016. Exercise improves glycaemic control in women diagnosed with gestational diabetes mellitus: a systematic review. *Journal of physiotherapy*, *62*(4), 188-96.

Hunter GR, Byrne NM, Sirikul B, Fernández JR, Zuckerman PA, 2012. Resistance training conserves fat-free mass and resting energy expenditure following weight loss. *Obesity*, 20(5), 1045-51.

Ikramuddin S, Korner J, Lee WJ, Connett JE, Inabnet WB, Billington CJ, Bantle JP, 2013. Roux-en-Y gastric bypass vs intensive medical management for the control of type 2 diabetes, hypertension, and hyperlipidemia: the Diabetes Surgery Study randomized clinical trial. *Jama*, *309*(21), 2240-9.

Jakicic JM, Rogers RJ, Davis KK, Collins KA, 2019. Role of physical activity and exercise in treating patients with overweight and obesity. *Clinical Chemistry*, 65(1), 99-107.

Johns DJ, Hartmann-Boyce J, Jebb SA, Aveyard P, 2014. Diet or exercise interventions vs combined behavioral weight management programs: a systematic review and meta-analysis of direct comparisons. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, *114*(10), 1557-68.

King NA, Hopkins M, Caudwell P, Stubbs RJ, Blundell JE, 2009. Beneficial effects of exercise: Shifting the focus from body weight to other markers of health. *British Journal of Sports Medicine*, 43(12), 924-7.

Knowler WC, Barrett-Connor E, Fowler S, 2002. Diabetes Prevention Program Research Group. Reduction in the incidence of type 2 diabetes with lifestyle intervention or metformin. *N. Engl. J. Med*, *346*, 393-403.

Knowler WC, Fowler SE, Hamman RF, 2009. Diabetes Prevention Program Research Program. 10-year follow-up of diabetes incidence and weight loss in the diabetes prevention program outcomes study. *Lancet*, *372*(9102), 1677-86.

Kunath J, Günther J, Rauh K, Hoffmann J, Stecher L, Rosenfeld E, Hauner H, 2019. Effects of a lifestyle intervention during pregnancy to prevent excessive gestational weight gain in routine care–the cluster-randomised GeliS trial. *BMC medicine*, *17*, 1-13.

Lean ME, Leslie WS, Barnes AC, Brosnahan N, Thom G, McCombie L, Taylor R, 2019. Durability of a primary care-led weight-management intervention for remission of type 2 diabetes: 2-year results of the DiRECT open-label, cluster-randomised trial. *The lancet Diabetes & endocrinology*, *7*(5), 344-55.

Lotta LA, Gulati P, Day FR, Payne F, Ongen H, Van De Bunt M, Scott RA, 2017. Integrative genomic analysis implicates limited peripheral adipose storage capacity in the pathogenesis of human insulin resistance. *Nature genetics*, *49*(1), 17-26.

Lotta LA, Wittemans LB, Zuber V, Stewart ID, Sharp SJ, Luan JA, Langenberg C, 2018. Association of genetic variants related to gluteofemoral vs abdominal fat distribution with type 2 diabetes, coronary disease, and cardiovascular risk factors. *Jama*, *320*(24), 2553-63.

Ma RC, Chan JC, 2013. Type 2 diabetes in East Asians: similarities and differences with populations in Europe and the United States. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1281*(1), 64-91.

Morgan DJ, Ho KM, Platell C, 2020. Incidence and determinants of mental health service use after bariatric surgery. *JAMA psychiatry*, *77*(1), 60-7.

Ndumele CE, Matsushita K, Lazo M, Bello N, Blumenthal RS, Gerstenblith G, Coresh J, 2016. Obesity and subtypes of incident cardiovascular disease. *Journal of the American Heart Association*, *5*(8), e003921.

Nedelec R, Miettunen J, Männikkö M, Järvelin MR, Sebert S, 2021. Maternal and infant prediction of the child BMI trajectories; studies across two generations of Northern Finland birth cohorts. *International Journal of Obesity*, *45*(2), 404-14.

O'Neil PM, Birkenfeld AL, McGowan B, Mosenzon O, Pedersen SD, Wharton S, Wilding JP, 2018. Efficacy and safety of semaglutide compared with liraglutide and placebo for weight loss in patients with obesity: a randomised, double-blind, placebo and active controlled, dose-ranging, phase 2 trial. *The Lancet*, *392*(10148), 637-49.

O'rahilly S, Farooqi IS, 2008. Human obesity: a heritable neurobehavioral disorder that is highly sensitive to environmental conditions. *Diabetes*, *57*(11), 2905.

Pan XR, Li GW, Hu YH, Wang JX, Yang WY, An ZX, Howard BV, 1997. Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance: the Da Qing IGT and Diabetes Study. *Diabetes care*, *20*(4), 537-44.

Peirson L, Douketis J, Ciliska D, Fitzpatrick-Lewis D, Ali MU, Raina P, 2014. Treatment for overweight and obesity in adult populations: a systematic review and meta-analysis. *Canadian Medical Association Open Access Journal*, *2*(4), E306-E317.

Peirson L, Fitzpatrick-Lewis D, Ciliska D, Ali MU, Raina P, Sherifali D, 2015. Strategies for weight maintenance in adult populations treated for overweight and obesity: a systematic review and meta-analysis. *Canadian Medical Association Open Access Journal*, *3*(1), E47-E54.

Pigeyre M, Rousseaux J, Trouiller P, Dumont J, Goumidi L, Bonte D, Meirhaeghe A, 2016. How obesity relates to socio-economic status: identification of eating behavior mediators. *International Journal of Obesity*, *40*(11), 1794-1801.

Rosenbaum M, Sy M, Pavlovich K, Leibel RL, Hirsch J, 2008. Leptin reverses weight loss–induced changes in regional neural activity responses to visual food stimuli. *The Journal of clinical investigation*, *118*(7), 2583-91.

Ross A, Brooks A, Touchton-Leonard K, Wallen G, 2016. A different weight loss experience: A qualitative study exploring the behavioral, physical, and psychosocial changes associated with yoga that promote weight loss. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine, 2016, 1-11.

Runhaar J, Deroisy R, van Middelkoop M, Barretta F, Barbetta B, Oei EH, Bierma-Zeinstra SM, 2016. The role of diet and exercise and of glucosamine sulfate in the prevention of knee osteoarthritis: Further results from the PRevention of knee Osteoarthritis in Overweight Females (PROOF) study. In *Seminars in arthritis and rheumatism* (Vol. 45, No. 4, pp. S42-S48). WB Saunders.

Runhaar J, van Middelkoop M, Reijman M, Willemsen S, Oei EH, Vroegindeweij D, Bierma-Zeinstra SM, 2015. Prevention of knee osteoarthritis in overweight females: the first preventive randomized controlled trial in osteoarthritis. *The American journal of medicine*, *128*(8), 888-95.

Sanyal AJ, 2019. Past, present and future perspectives in nonalcoholic fatty liver disease. *Nature reviews Gastroenterology & hepatology*, *16*(6), 377-86.

Sarma S, Sockalingam S, Dash S, 2021. Obesity as a multisystem disease: Trends in obesity rates and obesity-related complications. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, *23*, 3-16.

Schauer PR, Bhatt DL, Kirwan JP, Wolski K, Aminian A, Brethauer SA, Kashyap SR, 2017. Bariatric surgery versus intensive medical therapy for diabetes—5-year outcomes. *New England Journal of Medicine*, *376*(7), 641-651.

Semlitsch T, Stigler FL, Jeitler K, Horvath K, Siebenhofer A, 2019. Management of overweight and obesity in primary care—A systematic overview of international evidence-based guidelines. *Obesity Reviews*, *20*(9), 1218-30.

Semple RK, Sleigh A, Murgatroyd PR, Adams CA, Bluck L, Jackson S, Savage DB 2009. Postreceptor insulin resistance contributes to human dyslipidemia and hepatic steatosis. *The Journal of clinical investigation*, *119*(2), 315-22.

Sharma AM, Kushner RF. A proposed clinical staging system for obesity. Int J Obes (Lond) 2009;33:289–95.

Singh M, Lee J, Gupta N, Gaddam S, Smith BK, Wani SB, Sharma P, 2013. Weight loss can lead to resolution of gastroesophageal reflux disease symptoms: a prospective intervention trial. *Obesity*, *21*(2), 284-90.

Skubleny D, Switzer NJ, Gill RS, Dykstra M, Shi X, Sagle MA, Karmali S, 2016. The impact of bariatric surgery on polycystic ovary syndrome: a systematic review and meta-analysis. *Obesity surgery*, *26*, 169-76.

Strasser B, Siebert U, Schobersberger W, 2010. Resistance training in the treatment of the metabolic syndrome: A systematic review and meta-analysis of the effects on metabolic risk factors. Sports Medicine, 40(5), 397-415.

Sumithran P, Prendergast LA, Delbridge E, Purcell K, Shulkes A, Kriketos A, Proietto J, 2011. Long-term persistence of hormonal adaptations to weight loss. *New England Journal of Medicine*, *365*(17), 1597-1604.

Swift DL, Johannsen NM, Lavie CJ, Earnest CP, Church TS, 2014. The role of exercise and physical activity in weight loss and maintenance. Progress in Cardiovascular Diseases, 56(4), 441-7.

Taylor R, Al-Mrabeh A, Zhyzhneuskaya S, Peters C, Barnes AC, Aribisala BS, Lean ME, 2018. Remission of human type 2 diabetes requires decrease in liver and pancreas fat content but is dependent upon capacity for β cell recovery. *Cell metabolism*, *28*(4), 547-56.

Tremmel M, Gerdtham UG, Nilsson PM, Saha S, 2017. Economic burden of obesity: a systematic literature review. *International journal of environmental research and public health*, *14*(4), 435.

Vilar-Gomez E, Martinez-Perez Y, Calzadilla-Bertot L, Torres-Gonzalez A, Gra-Oramas B, Gonzalez-Fabian L, Romero-Gomez M, 2015. Weight loss through lifestyle modification significantly reduces features of nonalcoholic steatohepatitis. *Gastroenterology*, *149*(2), 367-78.

Villareal DT, Aguirre L, Gurney AB, Waters DL, Sinacore DR, Colombo E, 2017. Aerobic or resistance exercise, or both, in dieting obese older adults. New England Journal of Medicine, 376(20), 1943-55.

Walter S, Mejía-Guevara I, Estrada K, Liu SY, Glymour MM, 2016. Association of a genetic risk score with body mass index across different birth cohorts. *Jama*, *316*(1), 63-9.

Willis LH, Slentz CA, Bateman LA, Shields AT, Piner LW, 2012. Effects of aerobic and/or resistance training on body mass and fat mass in overweight or obese adults. Journal of Applied Physiology, 113(12), 1831-37.

World Health Organization. 2000. Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation.

Yeung KTD, Penney N, Ashrafian L, Darzi A, Ashrafian H, 2020. Does sleeve gastrectomy expose the distal esophagus to severe reflux?: a systematic review and meta-analysis. *Annals of surgery*, *271*(2), 257-65.

ANABOLİK ANDROJENİK STERODİLER VE YAN ETKİLERİ

Batuhan KARADUMAN
Karamanoğlu Mehmetbet Üniversitesi / Spor Bilimler Fakültesi,
bkaraduman@kmu.edu.tr - 0000-0002-0487-1618
Prof. Dr. Sefa LÖK
Selçuk Üniversitesi / Spor Bilimleri Fakültesi,
sefalok@gmail.com - ORCID ID

ÖZET

Anabolik steroidler olarak bilinen Anabolik-androjenik steroidler (AAS), içinde testosteron ve onun sentetik türevlerini barındıran çok geniş bir androjen molekül grubudur. Testosteron, Nandrolon Decanoat (ND), methandienon, ve methenolol en sık kullanılan AAS'dir. AAS kas büyümesi sağlayarak estetik bir görünüme sahip olmak ve atletlerin performanslarını arttırmak için dünya genelinde yaygın bir biçimde kullanılır. Ayrıca AAS kas fibrillerinin kalınlığını arttırmakla beraber kas kuvvetinde de artışa sebep olur. Bu nedenden dolayı başlarda sadece vücut geliştirmeciler arasında yaygın olan AAS'lerin kullanımı zamanla atlerler arasnda da yaygınlaşmıştır. AAS travma sonrası tedaviden osteoporoza kadar birçok tıbbi amaçla kullanılmaktadır. Ancak bu kullanım doktor kontrolünde düşük dozlarda ve insan sağlığı için çok daha zararlı olabilecek hastalıklarla mücadele etmek için yan etkileri göze alınarak yapılmaktadır. AAS'in daha yaygın olan kullanımı ise profesyonel atletlerden amatör vücut geliştirmecilere kadar birçok branşta ve yaşta bireyin yüksek dozlarda ve steroidlerin yan etkileri konusunda bilinçsizce kullanılmasıdır. Yapılan akademik çalışmalar anabolik steroidlerin ister kısa süreli ister uzun süreli ister düşük dozlarda ister yüksek dozlarda ister antrenmanla ister antrenmansız olsun her türlü kullanımının başta kardiyovasküler sistem olmak üzere insan bedenine kalıcı ve ağır zararlar verdiğini kanıtlamaktadır. Bu alanda daha fazla çalışma yaparak steroidlerin insan sağlına olan zararı vurgulanmalı ve bu ilaçları bilinçsizle kullanan bireyler steroidlerin zararları konusunda bilinçlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler : Anabolik Steroidler, Doping, Hipertrofi, Kalp

1. GİRİŞ

Anabolik-androjenik steroidler (AAS), testosteron ve sentetik türevlerini içeren geniş bir androjen molekül grubudur (Roman ve ark. 2018). Testosteron, Nandrolon Decanoat (ND), methandienon ve methenolol, en yaygın kullanılan AAS türlerindendir (Petane ve ark. 2020). AAS, kas gelişimini destekleyerek estetik bir görünüm kazandırdığı ve atletik performansı artırdığı için dünya genelinde sıkça tercih edilir (Mullen ve ark. 2020). Ayrıca, AAS kas liflerinin kalınlığını ve kas gücünü artırır. Bu nedenle, başlangıçta yalnızca vücut geliştirmeciler arasında popüler olan AAS kullanımı, zamanla diğer sporcular arasında da yaygınlaşmıştır (Basaria 2010, El Osta ve ark. 2016).

2. ANABOLİK-ANDROJENİK STEROİDLER

AAS'nin anabolik etkileri, tıbbi amaçlarla geniş bir kullanım alanına sahiptir. Menopoz sonrası kadınlarda kronik böbrek hastalığı, osteoporoz ve meme kanseri gibi rahatsızlıkların tedavisinde önemli bir rol oynar (Petane ve ark. 2020). Ancak, Dünya Anti-Doping Ajansı (WADA) tarafından AAS kullanımı yasaklanmıştır. Buna rağmen, ABD nüfusunun %1-3'ünün AAS kullandığı tahmin edilmektedir (Joseph ve Parr 2015). Bu oran, genç bireylerde daha yüksektir (Hakansson ve ark. 2012, Kanayama ve ark. 2018). AAS'nin özellikle kardiyovasküler sistemde uzun süreli hasarlara yol açması başta olmak üzere, tüm organlar, dokular, vücut fonksiyonları ve üreme sistemi üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle, AAS kullanımı halk sağlığı açısından ciddi bir sorun olarak değerlendirilir (Rahnema ve ark. 2015, Kanayama ve ark. 2010). Bu bağlamda, AAS'nin insan sağlığına zararlı etkilerinin daha fazla araştırılması ve bu konuda farkındalığın artırılması gerekmektedir.

2.1. AAS'lerin Tıbbi Amaçlarla Kullanımı

AAS, hipogonadizm, erkek çocuklarda gecikmiş ergenlik (testosteron enanthat), ikincil hipogonadizm (testosteron cypionat, enanthat ve undecanoat), gonadotropin ve luteinizing hormon salıcı hormon eksiklikleri, çeşitli tümörler, sakatlıklar ve radyasyon kaynaklı hipotalamus-hipofiz bezi fonksiyon bozuklukları gibi durumlarda tedavi amaçlı kullanılır. Ayrıca, steroidler testis hastalıkları, alkol ve ağır metal zehirlenmelerinden kaynaklanan hasarların tedavisinde de kullanılmaktadır (Ganesan 2021).

2.2. Steroidlerin Tıbbi Olmayan Amaçlarla Kullanımı

AAS, protein sentezini teşvik ederek, kas gelişimini destekleyerek ve kırmızı kan hücresi üretimini artırarak anabolik etkiler sağlar (Neto ve ark. 2015). Vücut geliştirme, strongman, beyzbol, futbol, bisiklet, güreş gibi çeşitli spor dallarında, her seviyede performansı artırmak için kullanılmaktadır (Ganesan 2021).

2.3. Etki Mekanizması

Endojen androjenler, erkeklerde cinsel organların ve ikincil cinsiyet özelliklerinin gelişimini ve devamlılığını sağlar. Testosteron, dihidrotestosteron ve sentetik AAS, androjen reseptörlerine bağlanarak etkilerini gösterir. İskelet kaslarında, AAS kas büyümesi için gerekli DNA birikimini düzenleyen hedef genlerin ekspresyonunu kontrol eder (Melo 2018). AAS, vücuttaki androjen reseptör sayısını artırır. Bu, kullanıcıların antrenman yoğunluğunu ve şiddetini artırmasına olanak tanıyarak daha büyük ve güçlü kaslar geliştirilmesini sağlar (Zhou 2018).

Nandrolon decanoat, anabolik etkileri androjenik etkilerden daha fazla olan bir AAS türüdür. Kas kütlesini artırmak için tasarlanmış, yavaş salınımlı bir steroiddir. Kaslarda nitrojen tutulmasını sağlayarak kas kütlesini artırır, kemik mineral yoğunluğunu ve kolajen sentezini yükselterek eklem ağrılarını azaltır. Ayrıca iştahı ve kırmızı kan hücresi üretimini artırır (Armstrong 2018). Dromostanol, anti-östrojenik özelliklere sahip, metiltestosterondan beş kat daha güçlü bir sentetik anabolik steroiddir. Özellikle vücut geliştirmeciler tarafından yarışma hazırlığı için kullanılır. Nitrojen, fosfor ve potasyum tutulmasını artırarak protein metabolizmasını yükseltir ve amino asit katabolizmasını azaltır, bu da kas yoğunluğunu ve sertliğini artırır (Ganesan 2021).

2.4. Uygulama

AAS, ağızdan alınan tabletler, enjeksiyonlar, kremler veya lokal jeller şeklinde uygulanabilir.

Nandrolon decanoat, haftalık 100 mg dozda eklem ağrılarını hafifletmek için kullanılırken, 200-400 mg dozlar kas büyümesi ve performans artışı için tercih edilir. Atletler, powerlifterlar ve vücut geliştirmeciler genellikle 10-12 haftalık kürler uygular.

Dromostanol, atletik performansı artırmak için vücut geliştirmeciler tarafından kullanılır. Haftalık 200-400 mg dozlarla, kısa yarı ömrü nedeniyle 3-4 günde bir uygulanır (Ganesan 2021).

2.5. Anabolik-Androjenik Steroidlerin Kas ve İskelet Sistemine Etkileri

2.5.1. AAS'lerin kemikler üzerine etkileri

Yaşlılıkta testosteron eksikliği, kemik kaybının önde gelen nedenlerinden biridir. Osteoporoz, yaşlılarda ciddi sağlık sorunlarına ve hatta ölüme yol açabilen bir hastalıktır. Testosteron, androjen reseptörlerine bağlanarak kemik sağlığını destekler. Araştırmalar, kemik kaybı olan yaşlılara uygulanan testosteron tedavisinin kemik yoğunluğunu artırarak kaybı azalttığını göstermiştir (Mohamad 2016, Zhou 2018, Compston 2001). Ancak, AAS'nin doping amaçlı kullanımı genellikle genç atletler arasında yaygındır ve yaşlılarda görülen olumlu etkiler gençlerde farklı sonuçlar doğurur. Epifiz plaklarının kapanması, kemik uzamasını durdurur (Karasu 2018). Erken yaşta AAS kullanımı, epifiz plaklarını kapatarak kemik büyümesini erken sonlandırır ve boy kısalığına neden olur.

Bu konuda çok sayıda çalışma yapılmıştır (Al-Ismail ve ark. 2002, Li ve ark. 2000, Bonnet ve ark. 2005, Lok 2015, Maravelias ve ark. 2005, Kim ve ark. 2003, Gunness ve ark. 1995, Windhal ve ark. 1999, Yavari 2009, Sims ve ark. 2002). AAS kullanımına bağlı boy kısalığı, egzersizle telafi edilemez (Kılcı ve Lök, 2018). Cíkos ve ark. (1992), 30 sütten kesilmiş sıçan üzerinde yaptığı çalışmada, estradiol verilen serbest beslenen sıçanların tibia kemik uzunluğunun, estradiol verilmeyen diğer gruplara kıyasla daha kısa olduğunu bulmuştur.

2.5.2. AAS'lerin kaslar üzerine etkileri

AAS'nin kas hipertrofisi üzerindeki etkileri uzun süredir araştırılmaktadır. Atletler ve vücut geliştirmecilerin deneyimlerine göre, testosteron ve türevleri kas kütlesi ve gücünü belirgin şekilde artırır (Tipton ve Wolfe 2001, Bhasin ve ark. 2001, Alshereef ve ark. 2020, Kraemer ve ark. 2020). Araştırmalar, testosteron ve türevlerinin sadece sporcularda değil, sedanter bireylerde de kas kütlesi ve gücünü artırdığını gösteriyor.

Örneğin, Bhasin ve ark. (1996), 19-40 yaş aralığında 40 erkek denekle yaptığı çalışmada, testosteron enjeksiyonu alan egzersiz yapmayan erkeklerin, plasebo alanlara göre daha fazla kas kütlesi ve gücü kazandığını göstermiştir. Ayrıca, testosteron enjeksiyonu alan egzersiz yapmayanlar, plasebo alıp egzersiz yapanlara kıyasla daha fazla kas kütlesi kazanmıştır. Yani, AAS kullanan ancak egzersiz yapmayan bir erkek, egzersiz yapan ancak AAS kullanmayan bir erkeği geride bırakabilir.

Testosteron, kaslarda protein sentezini artırır ancak protein yıkımını etkilemez, böylece protein dengesini pozitif yönde değiştirir (Ferrando ve ark. 1998).

Sinha-Hikim ve ark. (2002), 18-35 yaşlarında 61 erkekle yaptığı çalışmada, hipogonadizmi olanlara fizyolojik, sağlıklı olanlara ise suprafizyolojik dozlarda 20 hafta testosteron enanthate uyguladı. Her iki grupta da kas hipertrofisi gözlendi. Yüksek doz AAS kullanımı ciddi kas ve iskelet yaralanmalarına yol açabilir (Caminiti ve ark. 2009). Bir deney, suprafizyolojik dozda AAS'nin farelerin bacak kaslarında MMP-2 enzim aktivitesini azalttığını göstermiştir (Marqueti ve ark. 2008). Vasküler Endotelül Büyüme Faktörü (VEGF), fiziksel aktiviteye adaptasyon için kritik bir sinyal proteinidir. AAS'nin MMP-2'yi azaltması, VEGF salınımını düşürebilir (Paschoal ve ark. 2008).

AAS ayrıca tendon hasarlarına da neden olabilir. Kolajen fibrillerinin yapısı ve organizasyonu fiziksel aktiviteyle şekillenir, ancak bu süreç kaslardan daha yavaştır. AAS'nin kas adaptasyonunu hızlandırması, kas kuvvetini hızlıca artırır ve bu durum tendonlarda aşırı yüklenmeye yol açarak yırtılma veya kopma riskini artırır (Paschoal ve ark. 2009, Marqueti ve ark. 2011, Marqueti ve ark. 2009).
Kas kütlesi artışı ve estetik görünüm, AAS kullanımının en yaygın nedenlerdir. Sporcuların, AAS'nin kas ve iskelet sistemi üzerindeki olası yan etkileri konusunda bilinçlendirilmesi büyük önem taşır.

Sretenovic ve ark. (2018), nandrolon decanoat'ın (20 mg/kg/hafta) sıçanların quadriceps kasındaki etkilerini incelediği 4 haftalık çalışmada, ND'nin kontrol grubuna kıyasla kasın uzunlamasına çapını ve enine kesit alanını anlamlı şekilde artırdığını bulmuştur. ND uygulanan ve uygulanmayan egzersiz gruplarında eritrosit sayısında artış gözlenirken, sadece ND verilen grupta bu artış gözlemlenmemiştir.

2.6. AAS'lerin Kardiyovasküler Sistem Üzerine Etkileri

Kardiyovasküler hastalıklar, insan hayatını tehdit eden en yaygın hastalıklardan biridir ve küresel bir sağlık sorunudur (Yan ve ark. 2017, Fiatal ve Ádány 2018). Koroner arter hastalığı, hipertansiyon, aritmi, kardiyomiyopati ve tromboembolizm, en sık görülen kardiyovasküler rahatsızlıklardır. Hastalığın türüne göre patojenik nedenler değişse de, AAS bağımlılarında kardiyovasküler sistem genellikle sağlıksızdır ve bozukluklar bireyden bireye farklılık gösterir (Liu ve Wu 2019).

2.6.1. Damar kireçlenmesi

Damar sertliği, en sık görülen kardiyovasküler rahatsızlıklardan biridir ve erkeklerde kadınlara göre daha yaygındır. Bu fark, erkeklerdeki ana androjen olan testosterondan kaynaklanır (Leopold 2015, Durham 2018).

Zhu ve ark. (2016), farelere 9 gün boyunca testosteron ve dehidrotestosteron uyguladıktan sonra, damar çeperlerinde kalsiyum birikiminden kaynaklı kireçlenme gözlemlemiştir.

Deneysel çalışmalar, androjenlerin androjen reseptörlerine bağlanarak damar kireçlenmesini artırdığını ve bu durumun doku hasarına yol açarak damar sertliğine neden olduğunu öne sürmektedir (Riezzo ve ark. 2011, Melchert 1995).

2.6.2. Ateroskleroz

Ateroskleroz, atardamar duvarlarında plak birikimiyle daralmaya yol açan yaygın bir rahatsızlıktır ve lipit metabolizmasındaki bozukluklar temel nedenidir (Wolf 2019, Lu ve Daugherty 2015, Veseli ve ark. 2017).

Samieinasab ve ark. (2015), 40 sıçanla nandrolon decanoat kullanarak yaptığı çalışmada, deneklerin kan HDL seviyelerinin düştüğünü, LDL seviyelerinin ise yükseldiğini gözlemlemiştir. Ancak fiziksel aktivite, LDL'yi düşürüp HDL'yi artırarak AAS'nin olumsuz etkilerini hafifletebilir (Mogharnasi ve ark. 2017).

AAS kullanımı bırakıldığında, lipoprotein seviyelerinin normale dönmesi haftalar veya aylar sürebilir (Karson ve ark. 2015). Ancak, Peoples ve ark. (2014), uzun süreli AAS kullanımının LDL seviyelerini kalıcı olarak yükseltebileceğini ve bu durumun koroner arter hastalığı riskini artırabileceğini öne sürmüştür.

2.6.3. Tromboembolizm

AAS, pıhtılaşma sistemini doğrudan etkiler (Lippi ve Banfi 2011). AAS bağımlılarında trombosit sayısının artması, kalp, akciğer ve beyne giden damarlarda ani tıkanıklık riskini yükseltir (Frati ve ark. 2015).

Shamloul ve ark. (2014), 2 yıldan fazla AAS kullanan ve inme geçiren 37 yaşındaki bir hastada, yüksek trombosit oranının geçmiş AAS kullanımından kaynaklandığını tespit etmiştir.

Hang ve ark. (2018), aktif AAS kullanıcıları, geçmişte kullanmış olanlar ve hiç kullanmamış 100 kişiyle yaptığı çalışmada, aktif kullanıcıların trombosit oranının hiç kullanmayanlara göre %15, geçmişte kullananlarda ise %10 daha yüksek olduğunu bulmuştur.

2.6.4. Hipertansiyon

AAS'lerin AAS'nin hipertansiyona neden olduğunu savunan çalışmalar (Achar ve ark. 2010, Rasmussen ve ark. 2018) bulunurken, bu ilişkiyi bulamayan çalışmalar da mevcuttur (Palatini ve ark. 1996, Lenders ve ark. 1988).

Junior ve ark. (2018), 13 AAS kullanıcısı ve 16 kullanmayan kişiyle yaptığı çalışmada, AAS kullanıcılarının egzersiz sonrası sistolik kan basıncının anlamlı şekilde yüksek olduğunu göstermiştir.

AAS'nin kan basıncına etkisi uzun süre devam edebilir; bazı durumlarda kullanım bırakıldıktan 5-10 ay sonra bile hipertansiyon devam edebilir (Urhausen ve ark. 2004). AAS kullanımı sonrası kan basıncı normale dönerken, böbreklerde su ve sodyum tutulumu kan basıncını yeniden yükseltebilir (Kuhn 2002). AAS ve hipertansiyon ilişkisini anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

2.6.5. Kalp büyümesi

Doppler ekokardiyografi ve kardiyak manyetik rezonans görüntüleme ile yapılan çalışmalarda, AAS kullanıcılarında patolojik kalp büyümesi gözlenmiştir (Luijkx ve ark. 2013, D'Andrea ve ark. 2007).

AAS kaynaklı kalp büyümesi, fizyolojik büyümeyle farklıdır ve ventriküler uyumu azaltarak kardiyak fonksiyonları bozar (Baggish ve ark. 2010, Baggish ve ark. 2017). AAS, kalp kası hücrelerinde androjen reseptörlerini aktive ederek protein sentezini artırır ve bu durum kalp büyüsüne yol açar (Liu ve ark. 2003, Marsh ve ark. 1998, Hannan ve ark. 2003). Uzun süreli AAS kullanan atletler, özellikle vücutlar ve powerlifterlar, bu riskle karşı karşıyadır (D'Andrea ve 2016). Yoğun egzersizlerle birlikte AAS, kalp büyümesi, kardiyak fonksiyon bozuklukları ve ani kalp durmasına neden olabilir (Baggish ve ark. 2017).

2.6.6. Ani kalp durması

Klinik vakalar, AAS kullanımının ani kalp durmasıyla ilişkili olduğunu göstermiştir (Lichtenfeld ve ark. 2016, Hausmann ve ark. 1998), ancak mekanizması tam olarak

anlaşılmamıştır. Otopsi incelemeleri, AAS kullanıcılarının ölümlerinin genellikle ani kalp durmasından kaynaklandığını gösterir (Fineschi ve ark. 2007, Dickerman ve ark. 1996).

AAS kullanıcıları, kas büyümesini ve estetik görünümü artırmak için büyüme hormonu, insülin ve tiroid hormonu gibi ek ilaçlar kullanır (Graham ve ark. 2008, Sagoe ve ark. 2015, Chappell ve Simper 2018). Bu kombinasyonlar ölümcül olabilir, ancak bu iddiayı doğrulamak için daha fazla çalışma gereklidir. Katekolaminler (dopamin, adrenalin, noradrenalin), kan basıncını ve kardiyak çıkışı artırır (De Backer ve Faulon 2019, Frati ve ark. 2015). AAS, sinir dışı dokularda katekolamin artışına neden olur ve bu, fiziksel aktiviteyle birleştiğinde sempatik sistemi aşırı uyararak ventriküler fibrilasyon riskini artırır (Kasikcioglu ve ark. 2009). Bu nedenle, uzun süre AAS kullanan birinin ani kalp durmasıyla ölme olasılığı, kullanmayan birine göre daha yüksektir.

2.7.Anabolik Steroidlerin Organlar Üzerine Etkisi

2.7.1. Karaciğer

Hepatotoksisite Hepatolojik toksisite, AAS'nin en sık görülen yan etkilerinden biridir (Bond ve ark. 2016, Neri ve ark. 2011). AAS kaynaklı karaciğer hasarı, karaciğer hücrelerinde oksidatif stresle ilişkilidir. Androjen reseptörlerinin aktivasyonu, reaktif oksijen türlerini artırır ve karaciğerin detoksifikasyon kapasitesiyle bu türler arasındaki dengenin bozulması oksidatif strese yol açar (Bond ve ark. 2016).

Hepatotoksisite, genetik faktörler ve karaciğerdeki lenfositler, nötrofiller ve eozinofiller gibi filtre hücreleriyle ilişkilidir (Neri ve ark. 2011, Solimini ve ark. 2017). Oksidatif stres, mitokondriyal dejenerasyonun ölçüsünü belirlemede önemli bir rol oynar (Solimini ve ark. 2017).

Sıçanlara 5 hafta nandrolon decanoat uygulanan bir çalışmada, karaciğer nekroz yapıcılarının plazma seviyesinde artış ve karaciğer dokusunda kolajen birikimi gözlenmiştir (Solimini ve ark. 2017). Kolajen birikimi, Kupffer hücrelerini aktive ederek iltihaplı sitokin üretimini artırır ve karaciğer fibrozisine yol açabilir (Vieria ve ark. 2008, Schwingel ve ark. 2011).

AAS'nin karaciğerdeki diğer bir yan etkisi peliosis hepatis'tir; bu, karaciğer dokusunda kan dolu boşlukların oluşmasıdır (Neri ve ark. 2011). Çalışmalar, hepatik adenom ile AAS kullanımı arasında bir ilişki olduğunu ve karaciğer tümörlerinin AAS dozuyla bağlantılı olduğunu göstermektedir (Neri ve ark. 2011, Solimini 2017).

2.7.2. İdrar sistemi

Birçok Uzun süreli AAS kullanımı, böbrekler üzerinde zararlı etkilere sahiptir. Glomerüler hücreler, mezangial matriks birikimi, podosit azalması ve yapısal bozulmalar bu hasarların nedenlerindendir (D'Errico ve ark. 2011, Riezzo ve ark. 2014, Kahal ve Allem 2018, Brasil ve ark. 2015).

AAS kullanımı, androjen reseptörlerinin aktivasyonuyla böbreklerde hücre büyümesi ve hipertrofiye yol açar. Farelerde yapılan bir çalışmada, nandrolon decanoat'ın böbreklerin proksimal ve distal tüplerinde hipertrofiye neden olduğu gözlenmiştir (Josiak ve ark. 2014). Ayrıca, testosteron ve nandrolon decanoat ile androjen reseptörlerinin aktivasyonu böbrek fibrozisine yol açar (Brasil ve ark. 2015).
Uzun süreli nandrolon kullanımı, farelerde oksidatif stres ve böbrek hasarına neden olur. Nandrolon uygulanan farelerde lipit peroksidasyonu artarken antioksidan enzim aktiviteleri azalır (Riezzo ve ark. 2014).

3. SONUÇ

Anabolik-androjenik steroidler, travma sonrası tedavilerden osteoporoza kadar çeşitli tıbbi amaçlarla kullanılır. Ancak bu kullanım, doktor kontrolünde, düşük dozlarda ve ciddi hastalıklarla mücadele için yan etkileri göze alarak yapılır. Buna karşın, AAS'nin daha yaygın kullanımı, profesyonel sporculardan amatör vücut geliştirmecilere kadar farklı yaş ve branşlardan bireylerin yüksek dozlarda ve bilinçsizce kullanımıdır. Araştırmalar, AAS'nin kısa veya uzun süreli, düşük veya yüksek dozlarda, egzersizle veya egzersizsiz her türlü kullanımının, özellikle kardiyovasküler sistem başta olmak üzere insan sağlığına kalıcı ve ciddi zararlar verdiğini kanıtlamıştır. Bu konuda daha fazla araştırma yapılarak AAS'nin zararları vurgulanmalı ve bilinçsiz kullanımın önüne geçmek için bireyler bilgilendirilmelidir.

4. KAYNAKLAR

Achar S, Rostamian A, Narayan SM, 2010. Cardiac and metabolic effects of anabolic-androgenic steroid abuse on lipids, blood pressure, left ventricular dimensions, and rhythm. Am J Cardiol, 106(6), 893–901.

Al-Ismail K, Torreggiani WC, Munk PL, Nicolaou S, 2002. Gluteal mass in a bodybuilder: radiological depiction of a comlication of anabolic steroid us. Eur Radiol 12(6), 1366-9.

AlShareef S, Gokarakonda SB, Marwaha R, 2020. Anabolic steroid use disorder. In StatPearls. StatPearls Publishing.

Anawalt BD, 2019. Diagnosis and management of anabolic androgenic steroid use. J Clin Endocrinol Metab, 104(7), 2490–500.

Armstrong JM, Avant RA, Charchenko CM, Westerman ME, Ziegelmanm MJ, Miest TS, Trost LW, 2018. Impact of anabolic androgenic steroids on sexual function. Transl Androl Urol, 7(3), 483–9.

Baggish AL, Weiner RB, Kanayama G, Hudson JI, Lu MT, Hoffmann U, Pope HGJr, 2017. Cardiovascular toxicity of illicit anabolic-androgenic steroid use. Circulation, 135(21), 1991–2002.

Baggish AL, Weiner RB, Kanayama G, Hudson JI, Picard MH, Hutter AMJr, Pope HGJr, 2010. Long-term anabolic-androgenic steroid use is associated with left ventricular dysfunction. Circ Heart Fail, 3(4), 472–6.

Basaria S, 2010. Androgen abuse in athletes: detection and consequences. J Clin Endocrinol Metab, 95(4), 1533–43.

Bermon S, 2017. Androgens and athletic performance of elite female athletes. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes, 24(3), 246–51.

Bhasin S, Storer TW, Berman N, Callegari C, Clevenger B, Phillips J, Bunnel TJ, Tricher R, Shirazi A, Casaburi R, 1996. The effects of supraphysiologic does of testosterone muscle size and strength in normal men. N Engl J Med, 335(1), 1-7.

Bond P, Llewellyn W, Van Mol P, 2016. Anabolic androgenic steroid-induced hepatotoxicity. Med Hypotheses, 93, 150–3.

Bonnet N, Benhamou CL, Brunet-Imbault B, Arlettaz A, Horcajada MN, Richard O, Vico L, COllomp K, Courteix D, 2005. Severe bone alterations under β2 agonist treatments: bone mass, microarchitecture and strength analyses in female rats. Bone, 37(5), 622-33.

Brasil GA, Lima EM, Nascimento AM, Caliman IF, Medeiros AR, Silva MS, Abreu GR, Reis AM, Andrade TU, Bissoli NS, 2015. Nandrolone decanoate induces cardiac and renal remodeling in female rats, without modification in physiological parameters: The role of ANP system. Life Sci, 137, 65–73.

Caminiti G, Volterrani M, Iellamo F, Marazzi G, Massaro R, Miceli M, Mammi C, Piepoli M, Fini M, Rosano GM, 2009. Effect of long-acting testosterone treatment on functional exercise capacity, skeletal muscle performance, insulin resistance, and baroreflex sensitivity in elderly patients with chronic heart failure a double-blind, placebo-controlled, randomized study. Journal of the J Am Coll Cardiol, 54(10), 919–27.

Carson P, Hong, CJ, Otero-Vinas M, Arsenault EF, Falanga V, 2015. Liver enzymes and lipid levels in patients with lipodermatosclerosis and venous ulcers treated with a prototypic anabolic steroid (stanozolol): a prospective, randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. Int J Low Extrem Wounds, 14(1), 11–8.

Chang S, Rasmussen JJ, Frandsen MN, Schou M, Johansen ML, Faber J, Münster AB, Sidelmann JJ, Kistorp C, 2018. Procoagulant state in current and former anabolic androgenic steroid abusers. Thromb Haemost, 118(4), 647–53.

Chappell AJ, Simper TN, 2018. Nutritional peak week and competition day strategies of competitive natural bodybuilders. Sports, 6(4), 126.

Cíkos S, Kuchár S, Koppel J, 1992. The effect of administration of estradiol and testosterone on body growth of young male rats. Psychol Res, 41(5), 387–92.

Compston JE, 2001. Sex steroids and bone. Physiol Rev, 81(1), 419–47.

D'Andrea A, Caso P, Salerno G, Scarafile R, De Corato G, Mita C, Di Salvo G, Severino S, Cuomo S, Liccardo B, Esposito N, Calabrò R, 2007. Left ventricular early myocardial dysfunction after chronic misuse of anabolic androgenic steroids: a Doppler myocardial and strain imaging analysis. Br J Sports Med, 41(3), 149–55.

D'Andrea A, Limongelli G, Morello A, Mattera Iacono A, Russo MG, Bossone E, Calabrò R, Pacileo G, 2016. Anabolic-androgenic steroids and athlete's heart: when big is not beautiful. Int J Cardiol, 203, 486–8.

De Backer D, Foulon P, 2019. Minimizing catecholamines and optimizing perfusion. Crit Care (London, England), 23(Suppl 1), 149.

D'Errico S, Di Battista B, Di Paolo M, Fiore C, Pomara C, 2011. Renal heat shock proteins over-expression due to anabolic androgenic steroids abuse. Mini-Rev Med Chem, 11(5), 446–50.

Dickerman RD, McConathy WJ, Schaller F, Zachariah NY, 1996. Cardiovascular complications and anabolic steroids. Eur Heart J, 17(12), 1912.

Durham AL, Speer MY, Scatena M, Giachelli CM, Shanahan CM, 2018. Role of smooth muscle cells in vascular calcification: implications in atherosclerosis and arterial stiffness. Cardiovasc Res, 114(4), 590–600.

El Osta R, Almont T, Diligent C, Hubert N, Eschwège P, Hubert J, 2016. Anabolic steroids abuse and male infertility. Basic Clin Androl, 26, 2.

Emini Veseli B, Perrotta P, De Meyer G, Roth L, Van der Donckt C, Martinet W, De Meyer G, 2017. Animal models of atherosclerosis. Eur J Pharmacol, 816, 3–13.

Ferrando AA, Tipton KD, Doyle D, Phillips SM, Cortiella J, Wolfe, RR, 1998. Testosterone injection stimulates net protein synthesis but not tissue amino acid transport. Am J Physiol Cell Physiol, 275(5), 864–71.

Fiatal S, Ádány R, 2018. Application of single-nucleotide polymorphism-related risk estimates in identification of increased genetic susceptibility to cardiovascular diseases: a literature review. Front Public Health, 5, 358.

Fineschi V, Riezzo I, Centini F, Silingardi E, Licata M, Beduschi G, Karch SB, 2007. Sudden cardiac death during anabolic steroid abuse: morphologic and toxicologic findings in two fatal cases of bodybuilders. Int J Legal Med, 121(1), 48–53.

Frati P, Busardò FP, Cipolloni L, Dominicis ED, Fineschi V, 2015. Anabolic Androgenic Steroid (AAS) related deaths: autoptic, histopathological and toxicological findings. Curr Neuropharmacol, 13(1), 146–59.

Ganesan K, Rahman S, Zito PM, 2021. Anabolic Steroids. In StatPearls. StatPearls Publishing.

Georgieva KN, Boyadjiev NP, 2004. Effects of nandrolone decanoate on VO2max, running economy, and endurance in rats. Med Sci Sports Exerc, 36(8), 1336–41.

Gomes FC, Chuffa L, Fávaro WJ, Scarano WR, de Melo-Neto JS, Pinheiro P, Domeniconi RF, 2020. Nandrolone decanoate and resistance exercise affect prostate morphology and hormone receptor interface in adult rats with implications for the aging process. Andrology, 8(1), 211–20.

Graham MR, Evans P, Davies B, Baker JS, 2008. AAS, growth hormone, and insulin abuse: psychological and neuroendocrine effects. Ther Clin Risk Manag, 4(3), 587–97.

Gunnes M, Orwoll E, 1995. Early induction of alterations in cancellous and cortical bone histology after orchiectomy in mature rats. J Bone Miner Res, 10(11), 1735-44.

Hakansson A, Mickelsson K, Wallin C, Berglund M, 2012. Anabolic androgenic steroids in the general population: user characteristics and associations with substance use. Eur Addict Res, 18(2), 83–90.

Hannan RD, Jenkins A, Jenkins AK, Brandenburger Y, 2003. Cardiac hypertrophy: a matter of translation. Clin Exp Pharmacol Physiol, 30(8), 517–27.

Hausmann R, Hammer S, Betz P, 1998. Performance enhancing drugs (doping agents) and sudden death--a case report and review of the literature. Int J Legal Med, 111(5), 261–4.

Hoseini L, Roozbeh J, Sagheb M, Karbalay-Doust S, Noorafshan A, 2009. Nandrolone decanoate increases the volume but not the length of the proximal and distal convoluted tubules of the mouse kidney. Micron (Oxford, England : 1993), 40(2), 226–30.

Jones IA, Togashi R, Hatch G, Weber AE, Vangsness CT, 2018. Anabolic steroids and tendons: A review of their mechanical, structural, and biologic effects. J Orthop Res, 36(11), 2830–41.

Joseph JF, Parr MK, 2015. Synthetic androgens as designer supplements. Curr Neuropharmacol, 13(1), 89–100.

Josiak K, Jankowska EA, Piepoli MF, Banasiak W, Ponikowski P, 2014. Skeletal myopathy in patients with chronic heart failure: significance of anabolic-androgenic hormones. J. Cachexia Sarcopenia Muscle, 5(4), 287–96.

Joukar S, Yoosefnia M, Naderi-Boldaj V, Nasri H, Rafie F, 2018. Heart reaction to nandrolone decanoate plus two different intensities of endurance exercise: electrocardiography and stereological approach. Addict Health, 10(3), 180–9.

Junior J, Silva AS, Cardoso GA, Silvino VO, Martins M, Santos M, 2018. Androgenic-anabolic steroids inhibited post-exercise hypotension: a case control study. Braz J Phys Ther, 22(1), 77–81.

Kahal A, Allem R, 2018. Reversible effects of anabolic steroid abuse on cyto-architectures of the heart, kidneys and testis in adult male mice. Biomed Pharmacother, 106, 917–22.

Kanayama G, Hudson JI, Pope HGJr, 2010. Illicit anabolic-androgenic steroid use. Horm Behav, 58(1), 111–21.

Kanayama G, Kaufman MJ, Pope HGJr, 2018. Public health impact of androgens. Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes, 25(3), 218–23.

Karasu A, Gençcelep M, Kayıkcı C, 2018 Radiographic assessment of epiphyseal plate closure time of ceracarpus and phalanges in goat kids. Van Vet J 29(2), 87-92.

Kasikcioglu E, Oflaz H, Umman B, Bugra Z, 2009. Androgenic anabolic steroids also impair right ventricular function. Int J Cardiol, 134(1), 123–5.

Kılcı A, Lok S, 2018. Morphometric effects of testosterone supplementation on certain extremity bones in young swim-trained rats. Türk spor egzersiz derg, 20(3), 140-4.

Kicman AT, 2008. Pharmacology of anabolic steroids. Br J Pharmacol, 154(3), 502–21.

Kim BT, Mosekilde L, Duan Y, Zhang XZ, Tornvig L, Thomsen JS, Seeman E, 2003. The structural and hormonal basis of sex differences in peak appendicular bone strength in rats. J Bone Miner Res, 18(1), 150-5.

Kloner RA, Carson C, Dobs A, Kopecky S, Mohler ER, 2016. Testosterone and cardiovascular disease. J Am Coll Cardiol, 67(5), 545–57.

Kraemer WJ, Ratamess NA, Hymer WC, Nindl BC, Fragala MS, 2020. Growth hormone(s), testosterone, insulin-like growth factors, and cortisol: roles and integration for cellular development and growth with exercise. Front Endocrinol, 11, 33.

Kuhn CM, 2002. Anabolic steroids. Front Horm Res, 57, 411–34.

Lenders JW, Demacker PN, Vos JA, Jansen PL, Hoitsma AJ, van 't Laar A, Thien T, 1988. Deleterious effects of anabolic steroids on serum lipoproteins, blood pressure, and liver function in amateur body builders. Int J Sports Med, 9(1), 19–23.

Leopold JA, 2015. Vascular calcification: Mechanisms of vascular smooth muscle cell calcification. Trends Cardiovasc Med, 25(4), 267–74.

Li X, Takashi M, Kushida K, Shimizu S, Hoshino H, Suzuki M, 2000. The effect of nandrolone decanoare on bone mass and metabolism overectomized rats with ostepeni. J Bones Miner Metab, 18(1), 150-5.

Lichtenfeld J, Deal BJ, Crawford S, 2016. Sudden cardiac arrest following ventricular fibrillation attributed to anabolic steroid use in an adolescent. Cardiol Young, 26(5), 996–8.

Lippi G, Banfi G, 2011. Doping and thrombosis in sports. Semin Thromb Hemost, 37(8), 918–28.

Liu JD, Wu YQ, 2019. Anabolic-androgenic steroids and cardiovascular risk. Chin Med J, 132(18), 2229–36.

Liu PY, Death AK, Handelsman DJ, 2003. Androgens and cardiovascular disease. Endocr Rev, 24(3), 313–40.

Lok S, 2015. Does the use testsosterone enanthate as a form of doping in sports cause early closure of epiphyseal in bones. Int J Morphol, 22(4) 1201-4.

Lu H, Daugherty A, 2015. Atherosclerosis. Arterioscler Thromb Vasc Biol, 35(3), 485–91.

Luijkx T, Velthuis BK, Backx FJ, Buckens CF, Prakken NH, Rienks R, Mali WP, Cramer MJ, 2013. Anabolic androgenic steroid use is associated with ventricular dysfunction on cardiac MRI in strength trained athletes. Int J Cardiol, 167(3), 664–8.

Lusetti M, Licata M, Silingardi E, Bonsignore A, Palmiere C, 2018. Appearance/Image- and performance-enhancing drug users: a forensic approach. Am J Forensic Med Pathol, 39(4), 325–9.

Maravelias C, Dona A, Stefanidou M, Spiliopoulou C, 2005. Adverse effects of anabolic steroids in athletes: a constant threat. Toxiol Lett, 158(3), 167-75.

Marqueti RC, Prestes J, Paschoal M, Ramos OH, Perez SE, Carvalho HF, Selistre-de-Araujo HS, 2008. Matrix metallopeptidase 2 activity in tendon regions: effects of mechanical loading exercise associated to anabolic-androgenic steroids. Eur J Appl Physiol, 104(6), 1087–93.

Marqueti RC, Prestes J, Stotzer US, Paschoal M, Leite RD, Perez SE, Selistre de Araujo HS, 2008. MMP-2, jumping exercise and nandrolone in skeletal muscle. Int J Sports Med, 29(7), 559–63.

Marqueti RC, Prestes J, Wang, CC, Ramos OH, Perez SE, Nakagaki WR, Carvalho HF, Selistre-de-Araujo HS, 2011. Biomechanical responses of different rat tendons to nandrolone decanoate and load exercise. Scand J Med Sci Sports, 21(6), 91–9.

Marsh JD, Lehmann MH, Ritchie RH, Gwathmey JK, Green GE, Schiebinger RJ, 1998. Androgen receptors mediate hypertrophy in cardiac myocytes. Circulation, 98(3), 256–61.

Melchert RB, Welder AA, 1995. Cardiovascular effects of androgenic-anabolic steroids. Med Sci Sports Exerc, 27(9), 1252–62.

Melo Junior AF, Dalpiaz P, Sousa GJ, Oliveira P, Birocale AM, Andrade TU, Abreu GR, Bissoli NS, 2018. Nandrolone alter left ventricular contractility and promotes remodelling involving calcium-handling proteins and renin-angiotensin system in male SHR. Life Sci, 208, 239–45.

Mogharnasi M, Cheragh-Birjandi K, Cheragh-Birjandi S, TaheriChadorneshin H 2017. The effects of resistance and endurance training on risk factors of vascular inflammation and atherogenesis in non-athlete men. Interv Med Appl Sci, 9(4), 185–90.

Mohamad NV, Soelaiman IN, Chin KY, 2016. A concise review of testosterone and bone health. Clin Interv Aging, 11, 1317–24.

Mullen C, Whalley BJ, Schifano F, Baker JS, 2020. Anabolic androgenic steroid abuse in the United Kingdom: An update. Br J Pharmacol, 177(10), 2180–98.

Neri M, Bello S, Bonsignore A, Cantatore S, Riezzo I, Turillazzi E, Fineschi V, 2011. Anabolic androgenic steroids abuse and liver toxicity. Mini Rev Med Chem, 11(5), 430–7.

Neto WK, Gama EF, Rocha LY, Ramos CC, Taets W, Scapini KB, Ferreira JB, Rodrigues B, Caperuto É, 2015. Effects of testosterone on lean mass gain in elderly men: systematic review with meta-analysis of controlled and randomized studies. Age, 37(1), 9742.

Nikolic T, Zivkovic V, Jevdjevic M, Djuric M, Srejovic I, Djuric D, Jeremic N, Djuric D, Bolevich S, Jakovljevic V, 2016. The effects of chronic administration of nandrolone decanoate on redox status in exercised rats. Mol Cell Biochem, 411(1-2), 95–105.

Palatini P, Giada F, Garavelli G, Sinisi F, Mario L, Michieletto M, Baldo-Enzi G, 1996. Cardiovascular effects of anabolic steroids in weight-trained subjects. J Clin Pharmacol, 36(12), 1132–40.

Paschoal M, de Cássia Marqueti R, Perez S, Selistre-de-Araujo HS, 2009. Nandrolone inhibits VEGF mRNA in rat muscle. Int J Sports Med, 30(11), 775–8.

Patanè FG, Liberto A, Maria Maglitto AN, Malandrino P, Esposito M, Amico F, Cocimano G, Rosi GL, Condorelli D, Nunno ND, Montana A, 2020. Nandrolone decanoate: use, abuse and side effects. Medicina, 56(11), 606.

Peoples K, Kobe D, Campana C, Simon E, 2014. Hyperhomocysteinemia-induced myocardial infarction in a young male using anabolic steroids. Am J Emerg Med, 32(8), 948.e1–948.e9482.

Rahnema CD, Crosnoe LE, Kim ED, 2015. Designer steroids - over-the-counter supplements and their androgenic component: review of an increasing problem. Andrology, 3(2), 150–5.

Rasmussen JJ, Schou M, Madsen PL, Selmer C, Johansen ML, Hovind P, Ulriksen PS, Faber J, Gustafsson F, Kistorp C, 2018. Increased blood pressure and aortic stiffness among abusers of anabolic androgenic steroids: potential effect of suppressed natriuretic peptides in plasma. J Hypertens, 36(2), 277–85.

Riezzo I, De Carlo D, Neri M, Nieddu A, Turillazzi E, Fineschi V, 2011. Heart disease induced by AAS abuse, using experimental mice/rats models and the role of exercise-induced cardiotoxicity. Mini Rev Med Chem, 11(5), 409–24.

Riezzo I, Turillazzi E, Bello S, Cantatore S, Cerretani D, Di Paolo M, Fiaschi AI, Frati P, Neri M, Pedretti M, Fineschi V, 2014. Chronic nandrolone administration promotes oxidative stress, induction of pro-inflammatory cytokine and TNF-α mediated apoptosis in the kidneys of CD1 treated mice. Toxicol Appl Pharmacol, 280(1), 97–106.

Roman M, Roman DL, Ostafe V, Ciorsac A, Isvoran A, 2018. Computational Assessment of Pharmacokinetics and Biological Effects of Some Anabolic and Androgen Steroids. Pharm Res, 35(2), 41.

Sagoe D, McVeigh J, Bjørnebekk A, Essilfie MS, Andreassen CS, Pallesen S, 2015. Polypharmacy among anabolic-androgenic steroid users: a descriptive metasynthesis. Subst Abuse Treat Prev Policy, 10, 12.

Salem NA, Alnahdi HS, 2020. The impact of nandrolone decanoate abuse on experimental animal model: Hormonal and biochemical assessment. Steroids, 153, 108526.

Samieinasab MR, Shahraki MR, Samieinasab F, Najafi S, 2015. Influence of nandrolone decanoate administration on serum lipids and liver enzymes in rats. ARYA Atheroscler, 11(4), 256–60.

Schwingel PA, Cotrim HP, Salles BR, Almeida CE, dos Santos CRJr, Nachef B, Andrade AR, Zoppi, CC, 2011. Anabolic-androgenic steroids: a possible new risk factor of toxicant-associated fatty liver disease. Liver Int, 31(3), 348–53.

Sessa F, Salerno M, Di Mizio G, Bertozzi G, Messina G, Tomaiuolo B, Pisanelli D, Maglietta F, Ricci P, Pomara C, 2018. Anabolic androgenic steroids: searching new molecular biomarkers. Front Pharmacol, 9, 1321.

Shamloul RM, Aborayah AF, Hashad A, Abd-Allah F, 2014. Anabolic steroids abuse-induced cardiomyopathy and ischaemic stroke in a young male patient. BMJ Case Rep, 2014, bcr2013203033.

Sinha-Hikim I, Artaza J, Woodhouse L, Gonzalez-Cadavid N, Singh AB, Lee MI, Storer T, W, Casaburi R, Shen R, Bhasin S, 2002. Testosterone-induced increase in muscle size in healthy young men is associated with muscle fiber hypertrophy. Am J Physiol Endocrinol Metab, 283(1), 154–64.

Solimini R, Rotolo MC, Mastrobattista L, Mortali C, Minutillo A, Pichini S, Pacifici R, Palmi I, 2017. Hepatotoxicity associated with illicit use of anabolic androgenic steroids in doping. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 21(1 Suppl), 7–16.

Sretenovic J, Ajdzanovic V, Zivkovic V, Srejovic I, Corbic M, Milosevic V, Jakovljevic V, Milosavljevic Z, 2018. Nandrolone decanoate and physical activity affect quadriceps in peripubertal rats. Acta Histochemica, 120(5), 429–37.

Tipton KD, Wolfe RR, 2001. Exercise, protein metabolism, and muscle growthInt J Sport Nutr Exerc Metab, 11(1), 109–32.

Urhausen A, Albers T, Kindermann W, 2004. Are the cardiac effects of anabolic steroid abuse in strength athletes reversible. Heart (British Cardiac Society), 90(5), 496–501.

Vieira RP, França RF, Damaceno-Rodrigues NR, Dolhnikoff M, Caldini EG, Carvalho CR, Ribeiro, W. 2008. Dose-dependent hepatic response to subchronic administration of nandrolone decanoate. Med Sci Sports Exerc, 40(5), 842–7.

Windahl SH, Vidal O, Andersson G, Gustafsson JA, Ohlsson C, 1999. Increased cortical bone mineral content but unchanged trabecular bone mineral density in female ER_mice. J Clin Invest, 104(7), 895-901.

Wolf D, Ley K, 2019. Immunity and inflammation in atherosclerosis. Circ Res, 124(2), 315–27.

Yan R, Li W, Yin L, Wang Y, Bo J, PURE-China Investigators, 2017. Cardiovascular diseases and risk-factor burden in urban and rural communities in high-, middle-, and low-income regions of china: a large community-based epidemiological study. J Am Heart Assoc, 6(2), e004445.

Yavari A, 2009. Abuse of anabolic androjenic steroids. Journal of Stress Physiology, 5(3), 22-32.

Zhou S, Glowacki J, 2018. Dehydroepiandrosterone and bone. Vitam Horm, 108, 251–71.

Zhu, D, Hadoke PW, Wu J, Vesey AT, Lerman DA, Dweck MR, Newby DE, Smith LB, MacRae VE, 2016. Ablation of the androgen receptor from vascular smooth muscle cells demonstrates a role for testosterone in vascular calcification. Sci Rep, 6, 24807.

BESLENME DESTEĞİNDE KANITA DAYALI HEMŞİRELİK UYGULAMALARI

Yüksek Lisans Öğrencisi Şeyma KURBAN
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
24503005011@subu.edu.tr – 0009-0002-6848-2387

Prof. Dr. Feride TAŞKIN YILMAZ
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
feridetaskinyilmaz@subu.edu.tr - 0000-0003-0568-5902

ÖZET

Beslenme desteği, özellikle hastanede yatan, yaşlı, kronik hastalığı olan veya cerrahi girişim geçiren bireylerde, yaşam kalitesini ve tedavi başarısını doğrudan etkileyen önemli bir girişimdir. Yeterli ve dengeli beslenmenin yanı sıra uygun miktarda sıvı alımı, hem sağlığın korunmasında hem de yaşam kalitesinin artırılmasında temel bir rol oynamaktadır. Beslenme yetersizliği ve sıvı kaybı, bireylerde enfeksiyon insidansında artışa, basınç yaralarının gelişmesine, hastanede yatış süresinin uzamasına, renal fonksiyonların bozulmasına ve mortalite oranlarının yükselmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle, klinik ortamlarda bireylerin beslenme ve sıvı dengelerinin düzenli olarak değerlendirilmesi ve risk faktörlerinin erken dönemde belirlenmesi büyük önem taşır. Yeterli beslenmenin sağlanamadığı durumlarda, bireysel gereksinimler doğrultusunda oral, enteral veya parenteral beslenme desteklerinin uygulanması önerilmektedir. Bireylerde malnütrisyonun ve dehidratasyonun önlenmesi ve yönetimi, çok disiplinli bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Hemşireler, hekimler ve diyetisyenlerin etkin iş birliği içerisinde çalışarak beslenme planlarını oluşturmaları, düzenli değerlendirmeler yapmaları ve vücut ağırlığı gibi göstergelerle sıvı dengesini izlemesi, klinik sonuçların iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Hastalık, travma, rehabilitasyon ve yaşlı bakımında karşılaşılan güçlü zorluklarda baş edilmesi ve hastalıkların nütrisyonel açıdan önlenmesi konularında, kanıta dayalı ve sağlık profesyonelleri tarafından geniş çapta kabul görmüş profesyonel dilin ve standart terminolojinin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada da, uluslararası rehberler doğrultusunda oluşturulan öneriler paylaşılmaktadır. Söz konusu rehberin sunduğu kanıta dayalı uygulamalar, bireylere bakım sunan hemşireler ve sağlık profesyonelleri için mevcut uygulamaların gözden geçirilmesinde ve geliştirilmesinde yol gösterici bir kaynak olarak değerlendirilebilir.

Anahtar Kelimeler: Beslenme, Destek, Kanıta dayalı uygulama, Hemşirelik

EVIDENCE-BASED NURSING PRACTICES IN NUTRITIONAL SUPPORT

ABSTRACT

Nutritional support is an important intervention that directly affects the quality of life and treatment success, especially in hospitalized, elderly, chronically ill or surgically ill individuals. In addition to adequate and balanced nutrition, adequate fluid intake plays a fundamental role in both maintaining health and improving quality of life. Malnutrition and fluid loss can lead to an increase in the incidence of infection, development of pressure sores, prolonged hospitalization, deterioration of renal function and increased mortality rates in individuals. Therefore, it is of great importance to regularly assess the nutritional and fluid balances of individuals in clinical settings and to identify risk factors at an early stage. In cases where adequate nutrition cannot be provided, it is recommended to apply oral, enteral or parenteral nutritional support in line with individual needs. Preventing and managing malnutrition and dehydration in individuals necessitates a multidisciplinary approach. It is critical for nurses, physicians and dietitians to work in effective collaboration to create nutritional plans, make regular assessments and monitor fluid balance with indicators such as body weight in order to improve clinical outcomes. In coping with the powerful challenges encountered in illness, trauma, rehabilitation and elderly care, and in the nutritional prevention of diseases, it is necessary to use professional language and standard terminology that is evidence-based and widely accepted by health professionals. In this study, recommendations created in line with international guidelines are shared. The evidence-based practices presented in the guide can be considered as a guiding resource for nurses and health professionals who provide care to individuals in the review and development of current practices.

Keywords: Nutrition, Support, Evidence-based practice, Nursing

1. GİRİŞ

Pek çok hastalık ve sağlık problemi, dengesiz ve yetersiz beslenmeden kaynaklanmaktadır. Yetersiz beslenme; vücudun ihtiyaç duyduğu enerji ve besin öğelerinin yeterli miktarda karşılanamaması sonucu ortaya çıkan, metabolik işleyişi bozan, vücut fonksiyonlarını riske atan ve vücut ağırlığında kayba yol açan bir durum olarak tanımlanmaktadır (Keleş ve ark, 2020). Beslenme yetersizliği anlamına gelen malnütrisyon; yara iyileşmesinin yavaşlamasına, bağışıklık sisteminin zayıflamasına, kas kütlesi ve işlevlerinde kayıplara, bağırsak mukozasında incelmeye, yaygın ödem oluşumuna, zihinsel ve bilişsel işlevlerin bozulmasına ve genel olarak çoklu organ yetmezliğine neden olabilmektedir. Bu ciddi sonuçlar, sağlık çalışanlarının beslenme (nütrisyon) bilgisi, uygulama becerisi ve donanımının yeterli olmasını zorunlu kılmaktadır. Günlük hasta takibinde aktif rol alan hemşireler, besin alımındaki azalma veya açıklanamayan kilo kaybı gibi durumları erken fark ederek, malnütrisyon riski taşıyan hastaların belirlenmesi, uygun beslenme desteğinin sağlanması ve hastaların düzenli izlenmesi süreçlerinde kritik bir görev üstlenmektedir (Sivrikaya ve Eryılmaz, 2018). Vücutta yaşa bağlı gelişen değişiklikler, kronik hastalıklar, ilaç

kullanımı ile fiziksel, psikolojik, sosyal ve ekonomik faktörler beslenme durumunu belirleyen temel unsurlar arasındadır. Beslenme durumunun doğru şekilde değerlendirilmesi, hastalık ve mortalite riski yüksek olan bireylerin erken dönemde tanımlanması ve uygun müdahalelerin planlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır (Keleş ve ark, 2020).

2. NÜTRİSYON DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hastaların günlük takibinde birebir bulunduklarından dolayı, gıda alımı yetersizliği nedeniyle malnutrisyon riski altındaki hastaların saptanmasında ve beslenme desteği alan hastaların kontrolü açısından hemşirelerin nutrisyonda önemli rolleri vardır (Kara Yılmaz ve ark, 2017). Bu bağlamda, bireyin beslenme durumunun sağlıklı bir biçimde değerlendirilebilmesi, sistematik bir hasta öyküsünün alınması ve kapsamlı bir fizik muayene ile başlamalıdır. Anamnez sırasında hastanın mevcut ya da geçmişe yönelik kronik hastalıkları, beslenme alışkanlıkları, son dönemde meydana gelen ağırlık değişiklikleri ve sürekli kullandığı ilaçlara ilişkin bilgiler ayrıntılı olarak sorgulanmalıdır. Bu aşamada, özellikle hastaneye ilk kabul sürecinde anamnez alma görevini üstlenen hemşirelerin rolü oldukça kritiktir (Sivrikaya ve Eryılmaz, 2018)

Hastaların malnutrisyonu saptamada kullanılan biyokimyasal belirteçler albumin, prealbumin, retinol bağlayıcı protein ve transferrindir (Çınar ve ark, 2016) Fizik muayene sürecinde ise, beslenme durumunun objektif olarak belirlenebilmesi amacıyla çeşitli antropometrik ölçümlerden yararlanılır. Bu ölçümler arasında boy, vücut ağırlığı, üst kol çevresi, triseps kası deri kıvrım kalınlığı, kreatinin-boy oranı ve kreatinin-total kol uzunluğu oranı gibi parametreler yer almaktadır (Sivrikaya ve Eryılmaz, 2018). Tüm bunlar değerlendirilerek hasta; 1-İyi besleniyor, 2-Orta decede malnütrisyonlu, 3-İleri derecede malnütrisyonlu olarak skorlanır. Beslenme durumunu değerlendiren nutrisyonel skorlama testleri; “Malnutrition Universal Screening Tool” (MUST), “Mini Nutritional Assessment” (MNA), “Short Nutritional Assessment Questionaire” (SNAQ), “Nutritional Risk Screening” (NRS 2002), “Malnutrition Screening Tool” (MST) ve “Subjective Global Assessment” dir (Çınar ve ark, 2016).

3. NÜTRİSYON DESTEĞİNİN ÖNEMİ VE HEMŞİRENİN ROLÜ

Beslenme, insan yaşamının sürdürülebilmesi ve sağlığın korunması için vazgeçilmez bir ihtiyaç olmanın yanı sıra, evrensel düzeyde tanınan temel bir haktır. Günlük beslenme düzeninde ortaya çıkabilecek enerji veya besin ögesi eksiklikleri, organizmanın fizyolojik gereksinimlerini karşılayamamasına neden olur. Bu durum, beslenme yetersizliği olarak adlandırılır ve bireyin genel sağlık durumu üzerinde ciddi sonuçlar doğurabilir. Beslenme yetersizliği, bağışıklık sisteminin zayıflamasına, fiziksel işlevselliğin azalmasına ve çeşitli komplikasyonların gelişme riskinin artmasına yol açar. Aynı zamanda iyileşme süreçlerini yavaşlatır, sağlık hizmeti kullanımını artırır ve birey ile toplum düzeyinde yaşam kalitesini olumsuz etkiler (Gezer, Temel, 2019).

Yeterli ve dengeli beslenme, bireyin yaşam kalitesini doğrudan etkileyen temel sağlık göstergelerinden biridir. Bu kavram, organizmanın büyüme ve gelişme sürecini sürdürebilmesi, hücresel düzeyde yenilenme sağlayabilmesi ve tüm fizyolojik sistemlerin optimal şekilde işlev görebilmesi için gerekli makro ve mikro besin ögelerinin uygun oranlarda alınmasıyla tanımlanır. Besin ögelerinin eksik ya da dengesiz alınması durumunda ise çeşitli metabolik ve immünolojik bozulmalar meydana gelmektedir. Özellikle protein-enerji yetersizliği, bağışıklık sisteminin baskılanmasına, enfeksiyonlara karşı direncin azalmasına ve doku onarım süreçlerinde gecikmelere yol açabilmektedir. Ayrıca, kas kütlesinde azalma ve fiziksel performansın düşmesi gibi komplikasyonlar da yetersiz beslenmenin önemli sonuçları arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, bireyin yaşına, cinsiyetine, fizyolojik durumuna ve enerji gereksinimlerine uygun bir beslenme planının oluşturulması, hem hastalıklardan korunma hem de tedavi süreçlerinin etkinliği açısından büyük önem taşımaktadır (Çelebi, Yılmaz, 2019).

Malnütrisyon, yani vücudun ihtiyaç duyduğu besin ögelerini yeterli miktarda alamaması durumu, birçok sistemik bozukluğun gelişmesine zemin hazırlar. Bu durum, özellikle yara iyileşmesinde belirgin gecikmeler, bağışıklık sisteminde zayıflama, kas kitlesi ve fonksiyonlarında azalma, bağırsak mukozasında incelme (atrofi), vücutta yaygın ödem oluşumu, bilişsel işlevlerin zayıflaması ve çoklu organ sistemlerinde işlev bozuklukları gibi ciddi sonuçlara yol açabilir (Gezer ve Temel, 2019).

Besin alımının ağız yoluyla sürdürülemediği hastalarda, beslenme desteği sağlamak amacıyla enteral veya parenteral yollara başvurulmaktadır. Enteral beslenme, gastrointestinal sistemin çalışabildiği durumlarda tercih edilen yöntem olup, bu sistemin devre dışı kaldığı ya da beslenmenin tolere edilemediği durumlarda ise parenteral beslenme ön plana çıkar. Parenteral beslenme, sindirim sistemini bypass ederek gerekli besin ögelerinin damar yolu ile doğrudan dolaşıma verilmesini sağlayan bir yöntemdir ve özellikle enteral beslenmenin kontrendike olduğu klinik senaryolarda uygulanmaktadır (Gezer ve Temel, 2019).

Klinik beslenme uygulamalarında hemşireler, hasta bakımının temel uygulayıcıları olmanın yanı sıra, nütrisyonel destek süreçlerinin her aşamasında aktif rol alan sağlık profesyonelleri arasında yer almaktadır. Hemşire, yalnızca klinik bakımın uygulanmasında değil, aynı zamanda hastaların ve yakınlarının bilgilendirilmesinde, eğitiminde ve beslenme planlarının sürdürülebilirliğinde de kritik bir görev üstlenmektedir (Uysal ve ark, 2011). Ayrıca nütrisyon destek tedavisi sürecinde hemşire, multidisipliner ekip içerisinde hekim ve diyetisyenle iş birliği içinde çalışarak hastanın beslenme durumunun değerlendirilmesinden tedaviye başlama, devam ettirme ve sonlandırma aşamalarına kadar olan tüm süreçte etkin bir rol oynar. Bu süreçte hemşire, belirlenen nütrisyonel destek planının hastaya uygun yöntemle, doğru dozda ve uygun pozisyonda uygulanmasını sağlar; aynı zamanda uygulamaların etkinliğini izleyerek olası komplikasyonları önlemeye yönelik girişimlerde bulunur. Böylece hemşire, beslenme desteğinin güvenli, etkili ve hasta merkezli şekilde yürütülmesinde temel bir işlev görür (Sivrikaya, Eryılmaz, 2018).

Nütrisyonel destek uygulamalarında hemşirelerin sorumlulukları şunlardır:

- Nütrisyon ekibinin diğer üyeleriyle, özellikle doktor ve diyetisyenle, hastaların beslenme durumunu değerlendirir. Tedavi sürecine başlama, sürdürme ve sonlandırma aşamalarında aktif bir rol alır (Sivrikaya ve Eryılmaz, 2018).
- Nütrisyon ekibi içinde yer alan hemşirelik hizmetlerinin verimli bir şekilde yerine getirilmesini sağlar ve uygulamaların etkinliğini denetler (Sivrikaya ve Eryılmaz, 2018).
- Bireylerin beslenme durumlarını analiz ederek yetersiz beslenme riskini saptar ve bu doğrultuda kişiye özel beslenme planları geliştirip hayata geçirir (Tang ve ark., 2024).
- Belirlenen nütrisyonel tedavi ve hemşirelik girişimlerinin klinik standartlara uygun bir biçimde uygulanmasını denetler ve uygular.
- Düzenli olarak hasta vizitleri yapar. Bu süreçte, hastaya yönelik belirlenen beslenme planının doğru yöntem, doz ve pozisyonda uygulanmasını sağlar (Sivrikaya veEryılmaz, 2018).
- Nazoenteral yolla beslenmesine karar verilen hastaya gerektiğinde, doktor sorumluluğunda nazoenteral tüpleri takabilir (KEPAN, 2021).
- Enteral beslenme tüplerini izler ve tüplerde tıkanma, kırılma, yerinden çıkma, enfeksiyon veya cilt irritasyonu gibi komplikasyonları engellemek amacıyla gerekli girişimleri yapar
- Beslenme ürünlerinin saklama koşullarını, uygulama yöntemlerini ve sürelerini belirler ve hem klinik personele hem de hasta ve yakınlarına bu konuda eğitim verir.
- Nütrisyonel destek tedavisinde kullanılan tüm araç gereç ve ekipmanların temini, kullanımı ve hastaya doğru şekilde uygulanması konusunda ekip ile birlikte hareket eder (Sivrikaya, ve Eryılmaz, 2018).
- Parenteral beslenme tedavisi uygulanan hastalar için gerekli solüsyonların uygun steril koşullarda hazırlanmasını ve ilgili klinik birimlere güvenli biçimde ulaştırılmasını organize eder (Şenoğlu, 2016).
- Hemşire, klinik hemşirelerine eğitim verir ve danışmanlık yaparak güncel bilgilerin ve yöntemlerin uygulanmasını sağlar.
- Nütrisyon konusundaki bilimsel gelişmeleri takip eder, seminer, toplantı, kongre gibi etkinliklere katılır ve ekip ile birlikte araştırmalar yapar, planlar ve uygular.
- Tüm nütrisyonel destek uygulamalarını etik kurallar çerçevesinde gerçekleştirir ve hasta güvenliğini her zaman ön planda tutar (Sivrikaya ve Eryılmaz, 2018).

5. NÜTRISYON DESTEĞINDE KANITA DAYALI UYGULAMALAR

Günümüzde nütrisyon desteğinin sürdürülmesinde yol gösterici olan Espen, Aspen ve Kepan rehberlerinden yararlanılmaktadır. Bu rehberler doğrultusunda nütrisyon desteğinde kanıta dayalı uygulamalar şunlardır:

- Tek başına tıbbi tanı veya hastalık durumuna dayalı olarak parenteral beslenme (PN) kullanılmamalıdır (Çelebi ve Yılmaz, 2019).
- Hastanede yatan malnütrisyon riski altında olan yaşlı hastalara ONS başlanmalıdır (Bahat ve ark, 2022).

- Parenteral beslenme başlatılmadan önce enteral beslenme (EN) kullanmanın fizibilitesi tam olarak değerlendirilmelidir. PN'yi yeterli EN'nin bir seçenek olmadığı klinik durumlar için tercih edilmeldir (Worthington ve ark, 2017).
- TPN solüsyonlarının buzdolabında +4 ^{0}C de 6-9 gün saklanması ve oda sıcaklığında TPN solüsyonlarının 24 saat içinde kullanılması önerilmektedir (Köse ve ark, 2014).
- Oral alıma üç gün içinde başlaması beklenmeyen tüm hastalarda enteral beslenme tolere edilemiyor veya kontrendike ise parenteral beslenmeye başlanmalıdır (Gezer, Temel, 2019).
- Parenteral beslenme solüsyonu verilirken infüzyon pompası kullanılmalı, komplikasyon gelişiminin önlenmesi amacıyla infüzyon uygulamasından önce 2-4 saat önce buzdolabından çıkarılarak oda ısısına gelmesi sağlanmalıdır (Gezer ve Temel, 2019).
- Hastaya verilen solüsyonlar periferik venler kullanılarak uygulandığında istenen beslenme düzeyi sağlanamıyorsa, santral kateterler kullanılmalıdır (Koçhan ve Akın, 2018).
- Parenteral beslenme setleri ve bağlantılarının solüsyonun lipid içermesi durumunda 24 saatte bir, lipid içermemesi durumunda 72 saatte bir değiştirilmesi önerilmektedir (Köse ve ark, 2022)
- Kateter ile ilişkili kan enfeksiyonlarında kan kültürü alınmalı, pozitif sonuç veren kültürlerde farklı zamanlarda örnekler alınarak izlem yapılması önerilmektedir (Gezer ve Temel, 2019).
- Parenteral beslenme verilmeye başlarken hiperglisemiyi önlemek amacıyla birinci gün total miktarın 1/3 ‘ü, ikinci gün 2/3’ ü, üçüncü gün tamamı hastaya verilmelidir; ayrıca infüzyon hızı her arttırıldığında iki saatte bir daha sonra altı saatte bir kan şekeri izlemi yapılmalıdır (Koçhan ve Akın, 2018).
- Parenteral beslenmeye ara verilecekse hipoglisemiyi önlemek için %5-% 10 Dekstroz desteği verilmelidir (Çelebi ve Yılmaz, 2019).
- Üç bölmeli hazırlanan karışımların hastaya verilmeden önce karıştırılması ve geçimsizlik reaksiyonlarının gözlenmemesi için önce dekstroz ve aminoasit karışımı, daha sonra verilmesi istenen mikronütrienler, en son ise lipitlerle karışım sağlanmalıdır (Gezer ve Temel, 2019).
- Parenteral beslenme solüsyonu verilen santral kateterden santral venöz basınç ölçülmemelidir (Akyol Durmaz, 2017).
- TPN uygulaması yüksek enfeksiyon riski taşıdığı için uygulanmasında mümkün olduğunca en az lümenli ve mümkünse tek lümenli kateterlerin kullanılması önerilmektedir (Worthington ve ark., 2017).
- Derin ven trombozu riski nedeniyle santral venöz kateter uygulamasında alt ekstremitelerdeki venlerin (femoral ven) kullanılması önerilmemektedir (Çelebi ve Yılmaz, 2019).
- Parenteral beslenme solüsyonu alan hastalarda kateter takılı venin çıkış alanı tromboflebitin belirti ve bulgularının varlığı açısından (kızarıklık, sıcaklık artışı, sertlik ve hassasiyet) takip edilmelidir (Gezer ve Temel, 2019).
- Enteral beslenme uygulanan hastalar aspirasyon riski açısından değerlendirilmelidir. Aspirasyon ve aspirasyon pnömonisi riskini azaltma adımları proaktif olarak kullanılmalıdır. Enteral beslenme uygulanan tüm yoğun bakım ünitelerinde, hastaların yatak başı 30°-45° yükseltilmeli ve günde iki kez klorheksidin ile ağız bakımı yapılmalıdır (Çelebi ve Yılmaz, 2019).

Tablo 1'de beslenme desteği ile ilgili kanıta dayalı araştırmalar sunulmuştur.

Tablo 1. Beslenme Desteği İle İlgili Kanıta Dayalı Araştırmalar

Çalışma Ekibi	Örneklem	Girişim	Elde edilen bulgular
Bouleuc ve ark, 2020	İleri evre kanser ve beslenme yetersizliği yaşayan 111 hasta (48 deney, 63 kontrol grubu)	Deney grubunda olanlar parenteral beslenme almıştır. Kontrol grubunda olanlar yalnızca oral beslenme ile devam etmiştir.	Parenteral beslenmenin ileri evre kanser hastalarında yaşam kalitesini veya sağkalımı iyileştirmediğini göstermiştir.
Mısırlioğlu ve ark, 2024	510 kritik çocuk hasta	Aralıklı ve sürekli enteral beslenme uygulanan hastalar karşılaştırılmıştır.	Aralıklı enteral beslenme yönteminin kritik çocuk hastalar için daha avantajlı olduğunu göstermektedir.
Yağci ve ark, 2025	40 hasta	İmmün modüle edici diyet alan grup: 23 hasta İzokalorik standart diyet alan grup: 17 hasta	Erken enteral nutrisyon desteğinin mide kanseri cerrahisi sonrası immün yanıtları iyileştirdiğini gösterilmiştir.
Gao ve ark, 2022	Büyük abdominal cerrahi geçiren, yüksek beslenme riski taşıyan ve enteral beslenmeye düşük toleransı olan 230 hasta (115'i erken ek parenteral beslenme grubu,115'i ise geç ek parenteral beslenme grubu.	Erken ek parenteral beslenme grubundaki hastalara ameliyat sonrası 3. günde parenteral beslenme desteği sağlanırken, geç ek parenteral beslenme grubundaki hastalara bu destek ameliyat sonrası 8. günde verilmiştir.	Erken ek parenteral beslenme uygulamasının, geç ek parenteral beslenme uygulamasına kıyasla hastane kaynaklı enfeksiyonları azaltmada daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Lv ve ark, 2017	Özofagus kanseri olan ve eş zamanlı kemoradyoterapi gören 158 hasta (Enteral beslenme grubu 106 hasta, kontrol grubu 52 hasta)	Enteral beslenme grubundaki hastalar, bireysel beslenme müdahalesi ile desteklenmiştir. Kontrol grubundaki hastalar, standart diyet önerileri ile takip edilmiştir.	Enteral beslenmenin hastaların tedavi sürecini iyileştirdiği, beslenme durumlarını koruduğu ve enfeksiyon oranlarını azalttığı gösterilmiştir.

Sonuç

Nutrisyon desteği, özellikle akut ve kronik hastalık süreçlerinde hastanın prognozunu doğrudan etkileyen temel bir bakım unsurudur. Bu süreçte hemşirelerin rolü, yalnızca uygulayıcı olmaktan öte, hasta izleminden, değerlendirmeye, müdahale planlamasından eğitime kadar uzanan bütüncül bir sorumluluğu kapsamaktadır. Kanıta dayalı hemşirelik uygulamaları, nutrisyonel bakımın bilimsel temellere dayandırılmasını sağlayarak, klinik sonuçların iyileştirilmesinde ve hasta güvenliğinin artırılmasında önemli katkılar sunmaktadır.

Güncel araştırmalarla desteklenen yaklaşımlar, hemşirelerin karar verme süreçlerini güçlendirmekte, bireyselleştirilmiş bakım planlarının geliştirilmesini kolaylaştırmakta ve komplikasyonların erken dönemde önlenmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, hasta ve ailesinin bilinçlendirilmesi ile tedaviye uyumun artırılması, hemşirenin eğitimci ve savunucu rolünü de ön plana çıkarmaktadır.

Sonuç olarak, nutrisyon desteğinde kanıta dayalı hemşirelik uygulamaları; kaliteli, güvenli ve etkili bakım sunumunun ayrılmaz bir parçası olarak değerlendirilmelidir. Bu yaklaşımın hem hasta sonuçları hem de sağlık hizmetlerinde sürdürülebilirlik açısından önemi giderek artmakta olup, hemşirelik mesleğinin bilimsel temelli gelişimine de katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Akyol Durmaz A. (2017). Yoğun Bakım Hemşireliği (1. Baskı), İTK Basımevi, İstanbul.

Bouleuc, C., Anota, A., Cornet, C., Grodard, G., Thiery-Vuillemin, A., Dubroeucq, O., ... Aubry, R. (2020). Impact on health-related quality of life of parenteral nutrition for patients with advanced cancer cachexia: Results from a randomized controlled trial. *The Oncologist, 25*(5), e843–e851.

Mısırlıoğlu, M., Yıldızdaş, D., Ekinci, F., Akçay, N., Şahin, E. ve ark. (2024). Kritik çocuk hastalarda aralıklı ve sürekli enteral beslenme yöntemlerinin değerlendirilmesi, *20. Ulusal Çocuk Acil Tıp ve Yoğun Bakım Kongresi* , Antalya, Turkey, pp.66-67.

Bahat G, Akmansu M, Güngör L, ve ark. Beslenme destek tedavisinde oral nütrisyonel destek ürünleri kullanımı: KEPAN rehberi. Clin Sci Nutr 2022; 4(Supplement 1): S1-S35.

Çelebi, D., & Yılmaz, E. (2019). Cerrahi hastalarda enteral ve parenteral beslenmede kanıta dayalı uygulamalar ve hemşirelik bakımı. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi (IGUSABDER)*, 7, 714-731.

Çınar, H., Kaya, Y., Özyurt, N., Çakır, L., & Ongun, A. (2016). Palyatif bakım hastalarında nütrisyonel durumunun değerlendirilmesi. *Klinik Tıp Aile Hekimliği Dergisi, 8*(3), 15-18.

Gao, X., Liu, Y., Zhang, L., Zhou, D., Tian, F., Gao, T., ... & Wang, X. (2022). Effect of early vs late supplemental parenteral nutrition in patients undergoing abdominal surgery: A randomized clinical trial. *JAMA Surgery, 157*(5), 384-393.

Gezer, N., & Temel, E. (2019). Ülkemizde parenteral beslenmede kanıta dayalı hemşirelik uygulamaları: Bir literatür incelemesi. *Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 3*(2), 131-139.

Gürkan, A., & Gülseven, B. (2012). Enteral beslenme: Bakımda güncel yaklaşımlar. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 16*(2), 116-122.

KEPAN (Klinik Enteral Parenteral Nütrisyon Derneği). (2021). *Yetişkinlerde Enteral ve Parenteral Nütrisyon Uygulama Kılavuzu*.

Kara Yılmaz, D., Sarkut, P., Düzgün, F., Kuzu, C., & Kılıçturgay, S. (2017). Yatan hastaların nutrisyonel değerlendirme ve desteğine yönelik hemşirelerin görüşleri. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi, 14*(2), 139-143.

Keleş, M., Yavuz Van Giersbergen, M. (2020). Yaşlılarda klinik beslenme ve sıvı durumu: Kanıta dayalı uygulama önerileri. *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(3), 188-199.

Koçhan E, Akın S. (2018). Hemşirelerin enteral ve parenteralbeslenme uygulamalarına ilişkin bilgi düzeylerinin değerlendirilmesi. JAREN, 4 (1): 1-14.

Köse, G., Hasar, M., & Yaman, N. (2022). Hemşirelerin total parenteral nütrisyon uygulamalarına ilişkin bilgi düzeylerinin belirlenmesi. *SBÜ Hemşirelik Dergisi*, 4(2), 61-68.

Lv, J., Li, T., Zhu, G., Li, J., Zhu, S., Wang, J., et al. (2017). Enteral nutrition improves nutritional status, treatment tolerance, and outcomes in patients with esophageal cancer undergoing concurrent chemoradiation therapy: Results of a prospective, randomized, controlled, multicenter trial (NCT 02399306). *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics, 99*(2S), S143.

Sivrikaya, S. K., & Eryılmaz, A. (2018). Nütrisyonel destek ekibinde hemşirelik. *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, 3(2), 33-37.

Şenoğlu, N. (2016). *Nütrisyon kılavuzu*. Tepecik Hastanesi Yayınları.

Tang, Y ve ark. (2024). Nutritional nursing competence of clinical nurses and its influencing factors: a cross-sectional study. *Frontiers in Nutrition*, *11*.

Uysal, N., Eşer, İ., & Khorsid, L. (2011). Hemşirelerin enteral beslenme işlemine yönelik uygulama ve kayıtlarının incelenmesi. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi, 14*(2), 1-10.

Worthington, P., Balint, J., Bechtold, M., Bingham, A., Chan, L.-N., Durfee, S., Jevenn, A. K., Malone, A., Mascarenhas, M., Robinson, D. T., & Holcombe, B. (2017). When is parenteral nutrition appropriate? *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition, 41*(3), 324-377.

Yağcı, G., Can, M., Özerhan, İ., Öztürk, E., Şafak, H., Dağ, B., Özgürtaş, T., Aydın, İ., & Çetiner, S. (2025). Mide kanseri nedeniyle radikal rezeksiyon uygulanan hastalarda erken enteral nutrisyon ile standart nutrisyonu karşılaştıran prospektif randomize çalışma. *Türk Cerrahi Derneği*.

SOLUNUM DESTEĞİ UYGULANAN HASTALARDA HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI: KANITA DAYALI UYGULAMALAR

Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra KURT
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
24503005024@subu.edu.tr –0009-0005-0451-3078

Prof. Dr. Feride TAŞKIN YILMAZ
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi
feridetaskinyilmaz@subu.edu.tr - 0000-0003-0568-5902

ÖZET

Mekanik ventilasyon, solunum yetersizliği çeken hastaların yaşamlarını sürdürebilmeleri için hayati bir tıbbi müdahaledir. Ancak bu süreç, dikkatli bir yönetim ve multidisipliner bir yaklaşım gerektirmektedir. Hemşirelik uygulamaları, mekanik ventilasyon öncesi, sırası ve sonrasında hastaların bakımında kritik bir rol oynamaktadır. Hemşireler, solunum desteği alan hastaların izlenmesi, ağız bakımı, pozisyonlama, beslenme desteği ve komplikasyonların yönetimi gibi alanlarda önemli sorumluluklar üstlenmektedir. Aynı zamanda, hastaların mekanik ventilasyondan ayrılma sürecinde gösterilen çabaların etkinliği, hemşirelerin sürekli gözetimi ve eğitim desteği ile artırılabilir. Uygulama alanındaki gelişmelerle birlikte, hemşirelik pratiğinde kanıta dayalı yaklaşımlar esas alınarak, mekanik ventilasyon sürecinin optimize edilmesi ve komplikasyonların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, hemşirelik uygulamalarına yönelik eğitici programların geliştirilmesi ve bu programların sürekli güncellenmesi, mekanik ventilasyon süreçlerinde hastaların bakım kalitesini artıracak ve olumsuz sonuçların önlenmesine katkıda bulunacaktır.

Anahtar Kelimeler: Mekanik ventilasyon, hemşire, kanıta dayalı uygulamalar

NURSING APPROACHES IN PATIENTS UNDERGOING RESPIRATORY SUPPORT: EVIDENCE-BASED PRACTICES

ABSTRACT

Mechanical ventilation is a vital medical intervention for patients with respiratory failure to continue their lives. However, this process requires careful management and a multidisciplinary approach. Nursing practices play a critical role in the care of patients before, during and after mechanical ventilation. Nurses assume important responsibilities in areas such as monitoring patients receiving respiratory support, oral care, positioning, nutritional support and management of complications. At the same time, the effectiveness of the efforts made during the weaning process of patients from mechanical ventilation can be increased with the

continuous supervision and educational support of nurses. With the developments in the field of practice, it is aimed to optimize the mechanical ventilation process and minimize complications by taking evidence-based approaches into account in nursing practice. In line with this purpose, the development of educational programs for nursing practices and the continuous updating of these programs will increase the quality of care of patients during mechanical ventilation processes and contribute to the prevention of negative outcomes.

Keywords: Mechanical ventilation, nurse, evidence-based practices

1. GİRİŞ

Solunum desteği, bir kişinin solunum yapma kapasitesinin yetersiz olduğu veya tamamen kaybolduğu hallerde solunum yetersizliğini düzeltmek için uygulanan tıbbi müdahale yöntemlerinin tamamını ifade eder (Karadağ ve Aştı, 2016). Solunum desteği; mekanik ventilasyon (MV) yöntemleri olan invaziv, non-invaziv ventilasyon aracılığı ile bireyin sağlık durumuna göre uygulanmaktadır (Argın, 2022). Mekanik Ventilasyon'un genel amacı; solunum yetersizliği olan hastalarda, solunum işlevi düzelene kadar istediğimiz parametrelere göre, cihaz desteği ile vücut 7 organ ve dokularına oksijen transferini sağlamak ve oksijenizasyonu arttırmaktır. Herhangi bir nedenle hayati önem taşıyan, solunum fonksiyonu zayıf ve tamamen kaybolmuş hastaların solunumunu desteklemek amacıyla kullanılan mekanik ve elektronik cihazlara mekanik ventilator denir. Mekanik ventilasyon (MV), bu cihazlarla alveolar ventilasyonu artırmayı hedefler. Başka bir deyişle, MV, oksijenlenme düzeyi yetersiz olan hastalarda, hastanın kendi solunum fonksiyonları yeterli oksijen alana kadar dışarıdan bu işlevin cihaz yardımıyla sağlanmasıdır (Kara, 2018). MV'nin doğru bir şekilde uygulanması, uyarı ve önlemlerin dikkate alınması ile sağlanmalıdır. Bu derlemede, mekanik ventilasyon tedavisinin yanı sıra hemşirelik bakımında kanıta dayalı uygulamaların önemini vurgulamak amaçlanmaktadır (Akyıl ve ark, 2025).

2. MEKANIK VENTİLASYON ENDİKASYONLARI

Mekanik ventilasyonun temel hedefleri arasında akciğer hacmini artırmak, solunumsal asidozu gidermek, pulmoner gaz değişimini desteklemek, hipoksemiyi düzeltmek ve solunum eforuna bağlı oksijen tüketimini azaltmak bulunmaktadır. Bunun yanı sıra kas relaksasyonunu sağlamak, atelektaziyi önlemek veya iyileştirmek, akciğer hasarının ilerlemesini durdurmak, anestezi ve sedasyonu kolaylaştırmak, kafa içi basıncı azaltmak ve göğüs duvarı stabilizasyonunu sağlamak da dikkate değer amaçlar arasındadır. Mekanik ventilasyon ihtiyacı genellikle akut ve kronik solunum yetmezliği durumlarında ortaya çıkar. Ayrıca, kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOAH), spinal kord yaralanmaları, solunum kas paralizisi, respiratuar distress sendromu (RDS), bronkopulmoner displazi, pnömoni ve cerrahi işlemler gibi durumlar da bu tedavi yönteminin başlıca endikasyonlarını oluşturur (Olmaz, 2023).

Mekanik ventilasyon ihtiyacının belirlenmesinde vital kapasitenin 10 mL/kg'ın altında olması, negatif inspiratuar gücün -25'den az olması, %60'dan fazla oksijen desteği ile PaO2 'nin 50 mmHg'den az olması, solunum hızının dakikada 35'in üzerinde olması, PaCO2 miktarının 30 mmHg'den az veya 50'den fazla olması ve ölü boşluk/tidal volüm oranının 0.6 olması gibi

fizyolojik parametler kullanılır (Akyıl ve ark, 2025).

3. MEKANIK VENTİLASYONA İLİŞKİN RİSK FAKTÖRLERİ

Mekanik ventilasyon desteği alan hastalarda, ilgili sorunların etkili bir şekilde yönetilmemesi durumunda birçok komplikasyon ortaya çıkabilir. Bu komplikasyonlar arasında deride eritem, kızarıklık, döküntü, burun derisi lezyonları, basınç ülserleri, nazal konjesyon, sinüs veya kulak ağrısı, burun tıkanıklığı ve kuruluk, oral kuruluk, göz irritasyonu, aspirasyon pnömonisi ve oral mukoz membran ile cilt bütünlüğünde bozulma yer almaktadır. Bu tür sorunlar, hastanın hastanede veya yoğun bakım ünitesinde kalış süresini uzatabilir, ekonomik yükü artırabilir ve morbidite ile mortaliteyi yükseltebilir. Bu nedenle, mekanik ventilasyona bağlı gelişen sorun ve komplikasyonların erken tespiti ve sürdürülebilir hemşirelik bakımı son derece önemlidir (Sağır, 2021).

4. MEKANIK VENTİLASYON UYGULAMA YÖNTEMLERİ

İnvaziv mekanik ventilasyon, endotrakeal tüp ile hastanın akciğerlerinin havalandırılması olayıdır. Ancak entübasyon tüpüne ve mekanik ventilasyona ait komplikasyonlar, hava yolu defans mekanizmasının bozulması, ekstübasyon sonrası komplikasyonlar nedeniyle IMV korkulan ve kaçınılan bir yöntem olmuştur (Yıldırım, 2023). İnvaziv mekanik vestilasyon başlatma kriterleri; solunum hızı >35 (dakika/solunum), tidal volüm <5 (ml/kg), vital kapasite <15 (ml/dakika), inspirasyon basıncı maksimum (cm H2O) <25, -PaO2-FiO20.6<60 (mmHg), -P(A- ad)O2)>350 (mmHg) dir. Buna karşılık yeni yöntemlere ilişkin arayış, teknolojinin ve tıbbın gelişimiyle birlikte noninvaziv mekanik ventilasyonu gündeme getirmiştir (Yıldırım, 2023).

Noninvaziv mekanik ventilasyon (NIMV), dışarıdan bir cihaz kullanarak (örneğin bir yüz maskesi yardımıyla) hastalara oksijen sağlamayı ve karbondioksiti atmayı amaçlayan bir tedavi yöntemidir. Bu tür ventilasyon genellikle, akut ya da kronik tıbbi durumları nedeniyle hafif ila orta derecede nefes alma güçlüğü çeken hastalar için tercih edilir (Walter, 2021). NIMV, esasen iki farklı yöntemle gerçekleştirilebilir: negatif basınçlı ventilasyon ve pozitif basınçlı ventilasyon. Günümüzde sıklıkla pozitif basınç yöntemi tercih edilirken, negatif basınçlı ventilasyon daha çok tarihsel bir öneme sahiptir ve nadiren kullanılmaktadır. NIMV uygulaması, kalp ve solunum durması, bilinç bulanıklığı (hiperkapni durumu hariç), solunum dışı organ yetersizlikleri, hava yolu açıklığının akut veya kronik olarak bozulması, sekresyonların atılamaması, üst hava yolu obstrüksiyonu, yüz travması, deformitesi veya yanığı olan hastalarda kontrendike olarak kabul edilmektedir (Yıldırım, 2023). NIMV'nin çeşitli avantajları bulunmaktadır. Bu yöntem, entübasyonun neden olabileceği komplikasyonların önlenmesine yardımcı olur; örneğin, üst hava yollarında zarar oluşumunu engeller, trakeal daralma riskini azaltır ve nazokomiyal pnömoni gelişimini önler. Ayrıca, hastaların hastanede kalma sürelerini kısaltarak, konuşabilmelerine, yeme ve içme faaliyetlerini sürdürebilmelerine, ilaçları ağız yoluyla alabilmelerine imkan tanır. Bu yöntem ayrıca sedasyona ihtiyaç duyulmadan uygulanabilir ve düşük ölüm oranları ile ilişkilendirilmektedir (Bilgin, 2023). NIMV tedavisinde, hastaya solunum desteği sağlamak için invaziv yöntemler kullanılmadan burun, oronazal ve tam yüz maskeleri gibi aparatlar kullanılır.

Bu tedavinin etkili olabilmesi ve hastanın konforunun sağlanmasında hemşirelerin rolü oldukça büyüktür. Maske seçimi yapılırken; ventilasyonun sürekliliği, hava kaçaklarının önlenmesi, hasta konforu, maskenin şeffaf olması ve kolay temizlenebilir yapıda olması göz önünde bulundurulmalıdır. Gaz kaçağını azaltmak ve hastaya daha fazla konfor sağlamak amacıyla genellikle tam yüz maskeleri tercih edilir. Maskenin yüze tam oturması, etkinliği açısından oldukça önemlidir. Maskenin kaymasını önlemek için destekleyici bantlar kullanılmalı, ayrıca ciltle temas eden yüzeylerde tahrişi önlemek adına hidrokolloid örtüler veya koruyucu aparatlar yerleştirilmelidir. Oronazal maskeler de hava kaçaklarını azaltma konusunda avantaj sağlayabilir (Turan, 2024).

5. İNVAZIV MEKANİK VENTİLASYONDA HEMŞİRENİN ROLÜ

İnvazif mekanik ventilasyon uygulanan hastalarda sürecin komplikasyon gelişmeden tamamlanması için hemşirelere önemli görevler düşmektedir. İnvazif mekanik ventilasyon desteği uygulanan hastaların takip ve izleminin yapılması, hastaların düzenli aralıklarla değerlendirilmesi, mevcut ve potansiyel sorunların belirlenmesi ve bu sorunlara yönelik kanıta dayalı uygulamalar rehberliğinde hemşirelik bakımının uygulanması hastalarda komplikasyon gelişme riskinin en aza indirilmesini sağlar (Olmaz, 2023).

Ağız Bakımı

Kanıta dayalı uygulama rehberlerinde, ağız bakımının, doğrudan oral sağlık sorunlarını önlediği veya tedavi ettiği hakkında yeterli kanıt bulunmamakla birlikte, bu uygulamanın hastaların bakımında temel bir bileşen olduğu vurgulanmaktadır. Oral mukoza bütünlüğü açısından risk altında olan tüm hastalara, tedavi süreçleri boyunca etkin ağız bakım uygulamalarının sağlanması önerilmektedir. Yeterli kanıt olmasa da, ağız bakımının mukoza bütünlüğünü ve fonksiyonunu koruma ile diş sağlığı komplikasyonlarını azaltma açısından klinik pratikte büyük önem taşıdığı kabul edilmektedir. Mekanik ventilasyon uygulamaları, hastalarda ağız sağlık sorunları riski oluşturabilecek faktörler arasında yer almaktadır. Pnömoni gelişiminde en önemli etkenlerden biri orofarengeal kolonizasyondur; bu nedenle ağız hijyeninin her mesai saati içinde diş, yanak ve dilin temizlenmesini kapsayacak şekilde sağlanması önerilir. Ağız bakımında kullanılan solüsyonların seçiminde, mukozayı tahriş etmeme, kurutmama ve plakları etkili bir şekilde temizleme gibi özellikleri dikkate alınmalıdır. Ayrıca, ağız içindeki sorunların nedeninin belirlenmesi, kullanılacak solüsyonun seçiminde önemli bir rol oynamaktadır. Endotrakeal tüp ile mekanik ventilasyon uygulaması, hastanın ağzının sürekli açık kalmasına neden olur. Tüp ve tüpü sabitlemek amacıyla kullanılan flasterler de oral mukozada irritasyona yol açabilir. Bu hastalarda, entübasyondan sonraki 48 saat içinde fibronektin seviyelerinde azalma gözlemlenir. Bu durum, oral mukoza florasının değişmesine ve normal ağız florasında yer alan gram pozitif organizmaların yerini gram negatif organizmaların almasına yol açar. Etkili bir ağız hijyeni sağlanmadığında, 72 saat içinde potansiyel solunum patojenleri için bir rezervuar oluşturabilecek dental plaklar oluşabilir. Bunun yanı sıra, hastaların oral alımının yetersiz olması veya tamamen olmaması, oksijen tedavisi, tedavi sürecindeki ilaçların yan etkileri gibi faktörler, hastaları ağız problemleri açısından daha da riskli duruma sokar. Tedavi gören hastalarda ağız sağlık sorunlarının gelişmesini önlemek amacıyla, hastanın oral mukozasının düzenli aralıklarla

değerlendirilmesi, ortaya çıkabilecek sorunların belirlenmesi ve hastanın ihtiyaçlarına uygun olarak sürekli ağız bakımı yapılması hemşirenin sorumluluğu içerisindedir (Argın, 2022; Dikmen, 2017).

Pozisyon Verilmesi

Hastaya uygun pozisyon vermek, hemşirelik bakımında morbidite ve mortaliteyi etkileyebilecek önemli bir faktördür. Ventilatör ilişkili pnömoni (VİP), hastaneye yatışında pnömonisi olmayan, entübe ya da trakeostomili hastalarda mekanik ventilasyona başlandıktan 48 ila 72 saat sonra gelişen bir akciğer enfeksiyonudur. Pozisyonlama uygulamasının temel amacı, VİP oluşma riskini en aza indirmektir. Supin (sırtüstü) pozisyonda bulunan hastalarda, subglottik bölgede biriken sekresyonlar ve artan mide içeriği geri kaçışı aspirasyon riskini artırmakta; bu da VİP gelişimini kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle, enfeksiyon riskini azaltmak için hastanın baş kısmının 30–45 derece yükseltilmesi önerilmektedir (Onarıcı ve Karadağ, 2015).

Aspirasyon Uygulaması

Mekanik ventilatöre bağlı takip edilen hastalarda sağlık çalışanlarının el hijyenine özen göstermesi ve havayolundaki sekresyonların aspirasyonu sırasında aseptik teknik kullanılması, koruyucu ekipmanların doğru kullanılması (eldiven, önlük, maske, gözlük) enfeksiyona karşı etkin korunma sağlamaktadır. Aspirasyon riski VİP gelişimini etkilemektedir. Bu sebeple enteral beslenme tüpünün mümkün olduğunca postpilorik bölgede yer alması ve tüp takıldıktan sonra yerinin grafi ile gösterilmesi, tüpün hedeflenen yerde olup olmadığının aralıklı olarak kontrol edilmesi önerilmektedir. İnvazif mekanik ventilasyon uygulanan hastalarda, aspirasyon işlemi, tüp etrafında biriken sekresyonların, akciğerlere ulaşması engelleyerek invazif mekanik ventilasyona bağlı VİP gelişme riskinin azaltılmasını sağlar. Aspirasyon sıklığına hastanın durumuna göre karar verilmeli ve rutin aralıklarla aspirasyon yapılmamalıdır. Hastanın trakeostomi/endotrakeal tüpünde gözle görülür sekresyon varlığı, solunum sayısında artış (□24/dk), oskültasyonda anormal solunum seslerinin duyulması, siyanoz varlığı gibi hastada dispne bulguları görülmesi, hastanın aspirasyon ihtiyacını gösterir (Kurt, 2022).

Beslenme Uygulaması

Yoğun bakım ünitesinde mekanik ventilasyon tedavisi gören hastalarda, beslenme yetersizliği (malnütrisyon) ve ventilatör ilişkili pnömoni (VİP) gibi komplikasyonlar sıkça görülmektedir. Bu durumlar, kritik hasta grubundaki bireylerin sağlık durumunu olumsuz etkileyerek morbidite ve mortalite oranlarını artıran önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Malnütrisyon, hastaların iyileşme süreçlerini geciktirirken, VİP gibi enfeksiyonlar da tedavi sürecini zorlaştırmakta ve genel sağlık durumunu kötüleştirmektedir. Bu nedenle, yoğun bakımda tedavi gören hastaların beslenme durumu ve enfeksiyon riski üzerine dikkatli bir şekilde odaklanmak, hasta bakımının kalitesini artırmak için kritik öneme sahiptir (Kara, 2018). İnvazif mekanik ventilasyon uygulanan hastada görülen malnütrisyon, hastanın respiratuar kaslarında fonksiyon bozukluğuna sebep olarak, ventilatöre bağımlılığını arttırır. Sağlık Bakanlığı Hemşirelik Yönetmeliği (2010) gereğince hemşire; “Hastaların beslenme gereksinimlerini belirler (enteral ve parenteral beslenme), gereksinimlerine göre hemşirelik bakımını planlar ve uygular, beslenmede kullanılan

cihazların sterilizasyonunun devamlılığını sağlar.'' Maddesi gereği hastanın beslenmesinden sorumlu sağlık profesyoneli hemşiredir. Bu amaçla hemşirelerin, olası komplikasyonları önlemek için hastalarda beslenme desteğine yönelik bilgi sahibi olması ve kanıta dayalı uygulamalar eşliğinde hastalara bakım vermesi önemlidir (Argın, 2022).

6. NON-İNVAZİV MEKANİK VENTİLASYONDA HEMŞİRENİN ROLÜ

Non-invaziv mekanik ventilasyon uygulamasının başarısını etkileyen önemli komplikasyonlardan biri, tedavi sırasında kullanılan maskenin neden olduğu yüz bölgesinde meydana gelen basınç yaralanmalarıdır. Bu tür yaralanmalar, hastanın tedaviye uyumunu olumsuz yönde etkileyerek NIMV'nin etkinliğini azaltabilir. Burun üstü basınç yaralanmalarının önlenmesinde doğru maske seçimi kritik bir öneme sahiptir. Yanlış maske tercihi, hasta ile ventilatör arasında uyumsuzluğa yol açarak hava kaçaklarına, artan otomatik devreye ve verimsiz solunum çabalarına neden olabilir. Ayrıca, maske sabitleme bağlarının fazla sıkı olması da cilt hasarı riskini artırabilir. NIMV uygulamasının başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için hemşirelerin yüz bölgesindeki basınç yaralanma sorunlarını tespit etmesi, bunları önlemek ve yönetmek için etkili stratejiler geliştirmesi büyük önem taşımaktadır (Kara & Arıkan, 2020).

Non-invaziv mekanik ventilasyon maskesi seçiminde hastanın genel durumu, yüz şekli, cilt yapısı ve psikolojik durumu gibi faktörler ile NIMV kullanım süresi dikkate alınmalıdır. Amerika Birleşik Devletleri Basınç Yaraları Danışma Paneli (NPUAP), basınç yaralarının önlenmesi amacıyla tıbbi ekipmanın altında nemin kontrol edilmesini önererek cildin sürekli kuru ve temiz kalmasını sağlamayı tavsiye etmektedir. Cildin tıbbi ekipmanla teması mukozayı etkileyebileceği için cilt düzenli olarak kontrol edilmelidir. (Sağır, 2021). Tıbbi cihazlara bağlı basınç yarası riskinin ve gelişiminin en çok, NIV maskeleri ile orotrakeal tüp gibi solunum cihazlarının neden olduğu bildirilmiştir. Bu bağlamda, tıbbi cihaza bağlı basınç yaralarının %30 ila %70'inin solunum ekipmanları kaynaklı olduğu belirlenmiştir. Türkiye'de tıbbi cihazlarla ilişkili basınç yaralarının prevalansı ve gelişiminde etkili risk faktörleri üzerine yapılan araştırmalar, en sık rastlanan lezyonların orotrakeal tüpler, NIV maskeleri, oksimetreler, O2 maskeleri ve nazal kanüller tarafından oluştuğunu göstermektedir. (Kara & Arıkan, 2020).

Hava akımıyla nazal ve sinüs dokusunda nemliliği kaybolmaktadır. Nazal kuruluğa bağlı irritasyon oluşmaktadır. Tedavi semptomatik olmaktadır. Topikal dekonjestanlar ve kortikosteroidler, kuruluk için nazal su bazlı jeller kullanılabilmektedir. Böylece nazal mukozadaki irritasyon azaltılabilmektedir (Sağır, 2021). Ayrıca MV uygulanan hastaların çoğunda anksiyete ve ajitasyonu önlemek, uykuyu düzenlemek, endotrakeal tüp ve ventilatöre karşı tolerasyonu arttırabilmek için sedasyon uygulaması yapılmalıdır. Hastalarda bu tedaviye bağlı olarak oluşan ağrı deneyimi için sedasyon uygulamasının yanı sıra analjezi de uygulanmalıdır (Kara, 2018).

Ventilatör devrelerinde biriken sıvının, gastrik içeriğin veya sekresyonların aspirasyonu sonucu pnömoni gelişebilmektedir. NIMV uygulaması için hasta seçiminde ve tedavi süresince oldukça dikkatli olunması gerekir. Solunum yolunu koruyamayan, oluşan sekresyonları temizleyemeyen hastalara NIMV uygulaması risklidir. Hastalar uygulama sürecinde semi- fowler pozisyonunda olmalıdır. Tedavi sürecinde gelişen gastrik distansiyon sonucunda reflü ve mide içeriği

aspirasyonu olabilmektedir. Maskenin yaptığı basınca bağlı olarak mukozal ya da burun kökünde nazal ağrı, burun sırtında eritem ya da ülserasyon (basınç yaralanması) bildirilen komplikasyonların çoğunluğunu oluşturmaktadır. Hasta-maske uyumsuzluğu %30-50 oranında gözlenmektedir. Hastanın NIMV tedavisine uyumunu artırmak için 14 uygun maske seçilmesi ve hasta konforu önemlidir. Bu sebeple farklı model ve boylarda maskelerin bulundurulması önemli olmaktadır. Seçilen maske yüze tam oturmalıdır ve maske bağları hava kaçağını önleyecek şekilde ama çok sıkılmadan tutturulmalıdır. Kulak kepçeleri maske bağları altında kalmamalıdır (Sağır, 2021).

7. MEKANİK VENTİLASYONDAN AYIRMA (WEANING)

Weaning süreci, mekanik ventilasyon desteği alan bir hastanın artık bu desteğe ihtiyaç duymamasıyla birlikte, solunum cihazından kademeli olarak ayrılmasını kapsayan bir dönemdir. Bu sürecin amacı, hastanın kendi solunumunu yeniden ve yeterli bir şekilde sürdürebilmesini sağlamaktır. Weaning'in başarılı olabilmesi için hastanın solunum kaslarının güçlenmesi ve solunum işlevlerinin normale dönmesi gerekir. Sürecin dikkatli bir şekilde planlanması ve izlenmesi oldukça önemlidir; çünkü hastanın klinik durumuna bağlı olarak bazı komplikasyonlar gelişebilir (Güner & Kutlutürkan, 2020). Mekanik ventilasyondan ayırma kararı; hastanın solunum, dolaşım, bilinç ve genel sağlık durumunun stabil olmasına bağlıdır. Ayırma sürecinde; oksijenlenme açısından PaO2/FiO2 oranının 200'ün üzerinde olması veya FiO2'nin %40'ın altında ve SpO2'nin %90'ın üzerinde ya da PaO2'nin 60 mmHg ve üzerinde olması istenir. Pozitif uç basıncın (PEEP) ise 8 cmH2O ya da daha düşük olması gerekir. Ventilasyon açısından pH değerinin 7.30'un üzerinde, solunum sayısının dakikada 35'in altında, dakika ventilasyonun ise 15 litrenin altında olması beklenir. Ayrıca, hastada yeterli inspiratuar efor, öksürük ve öğürme reflekslerinin varlığı gözlemlenmelidir. Hemodinamik açıdan ise kalp hızının 140 bpm'nin altında, sistolik kan basıncının 90–180 mmHg aralığında olması ve inotropik desteğe ihtiyaç duyulmaması gerekir. Hastanın bilinç durumu da önemlidir; sürekli sedasyon uygulanmıyor ve nöromüsküler blokaj ilaçları kullanılmıyorsa, bu kriter sağlanmış olur. Hemoglobin düzeyinin en az 7 g/dL olması ve aktif kanamanın bulunmaması da dikkate alınması gereken faktörlerdendir. Son olarak, vücut sıcaklığının 36–38°C aralığında olması weaning süreci için uygun bir klinik durumu işaret eder (Akyıl ve ark, 2025).

Mekanik Ventilasyondan Ayırma Sürecinde Hemşirelik Yaklaşımları

Weaning süreci, hastanın klinik durumunun sürekli izlenmesi ve değerlendirilmesini gerektirir. Hemşireler, vital bulgular, solunum parametreleri ve hastanın genel sağlık durumu hakkında düzenli bilgi toplamalıdır. Bu yakın takip, weaning sürecinin başarısını doğrudan etkilemektedir. Hastanın uygunluğun belirlenmesi için fiziksel ve laboratuvar bulguları incelenir; solunum kaslarının gücü ve dayanıklılığı da göz önünde bulundurulur. Ayrıca, hastaya ve ailesine sürecin detayları hakkında bilgilendirme yapılır ve psikolojik destek sağlanarak hasta uyumu artırılır. Doğru nefes alma teknikleri ve gevşeme egzersizleri öğretilir. Ventilatör ayarları kademeli olarak azaltılır ve Spontan Solunum Denemesi sırasında hastanın durumu dikkatle izlenir. Solunum yetmezliği belirtileri (takipne, dispne, hipoksemi) hızla müdahale gerektirirken; hemodinamik instabilite (taşikardi, hipotansiyon) ve enfeksiyon belirtileri (ateş, lökositoz) de

izlenmelidir(Sepahyar ve ark. ,2021). Gerekli tedavi ve antibiyotik önlemleri alınmalıdır. Hastanın beslenme durumu ve sıvı dengesi de izlenmeli; yeterli beslenme ile solunum kaslarının güçlenmesi desteklenmelidir. Bilinç durumu, uyku düzeni ve genel konfor düzeyi değerlendirilmeli, anksiyete ve stres seviyesi izlenerek gerekli durumlarda psikolojik destek sağlanmalıdır. Kan gazları ve elektrolit seviyeleri düzenli kontrol edilirken, gerektiğinde akciğer grafisi ve solunum fonksiyon testleri yapılmalıdır. Tüm klinik bulgular ve müdahaleler detaylı bir şekilde belgelenmeli; multidisipliner ekip ile düzenli iletişim sağlanarak tedavi planında güncellemeler yapılmalıdır. Mekanik ventilatörden ayırma sürecinde, bireyin genel durumu, mevcut hastalıkları ve psikolojik hazır bulunuşluğu önemli bir rol oynamaktadır. Hemşirelik izleminin önemi vurgulanmalı; yapılan araştırmalara göre hemşirenin sürece katılımı başarı oranını artırmaktadır. Mekanik ventilatör desteği altındaki bireylerin duygusal gereksinimlerinin karşılanması, ventilatör kullanım süresini kısaltır. Ayırma stratejilerinin uygulanması, karar verme sürecini daha güvenilir hale getirirken, hemşirelerin uygulaması gereken önemli girişimler şunlardır:

- Hastanın solunum çabasını azaltmak ve diyafram hareketlerini engellememek için semi-fowler pozisyonunda tutulması önerilir.
- Her hasta için temizlenmiş ve dezenfekte edilmiş bir nemlendirme sistemi kullanılmalıdır.
- Ventilatör devreleri doğru ve güvenli şekilde yerleştirilmelidir.
- T-tüp içerisinde biriken sekresyonlar aspirasyon ile uzaklaştırılarak hava yolu açıklığı korunmalıdır.
- Aspirasyon işlemi sırasında serum fizyolojik kullanılmamalıdır.
- Hastanın ağız bakımı klorheksidin ile sağlanmalı, diş temizliği her vardiyada yapılmalıdır.
- Yapay hava yolunun çıkarılmasından en az dört saat önce enteral beslenme kesilmeli; ekstübasyondan sonra da en erken dört saat sonra tekrar başlanmalıdır.
- Hasta, mekanik ventilasyondan ayrılmaya uygun olup olmadığı açısından düzenli olarak izlenmelidir.
- Nörolojik durumu saatlik olarak değerlendirilip ağrı yönetimi sağlanmalıdır.
- Yaşam bulguları sürekli izlenmeli, sedatif ilaç kullanımı mümkün olduğunca azaltılmalıdır.
- Ekstübasyon sonrasında hastanın kan gazları ve oksijen satürasyonu sık aralıklarla kontrol edilmelidir.
- Hastanın kaygısını azaltmak amacıyla uygun iletişim yöntemleri kullanılmalıdır.
- Mekanik ventilasyona 24 saatten uzun süre bağlı kalan hastalar için erken mobilizasyonu destekleyen rehabilitasyon programları uygulanmalıdır (Güner & Kutlutürkan, 2020).

Bu uygulamaların tamamı, hastaların ventilatörden güvenli şekilde ayrılmasını sağlamak amacıyla dikkatle yürütülmelidir.

Tablo 1. Solunum Desteğinde Kanıta Dayalı Hemşirelik Yaklaşımları Ile İlgili Çalışma Örnekleri

Çalışma Ekibi	Çalışma Türü	Örneklem	Girişim	Çalışma Sonucu
Zhang ve ark, 2021	Retrospektif	89 KOAH; hastası (40 vaka, 49 deney grubu)	Kontrol grubu olarak ilaç tedavisi ve solunum eğitimi alırken deney grubu ayrıca Yüksek Kaliteli Hemşirelik ile desteklendi. Akciğer Fonksiyonu yaşam kalitesi ve uyumdaki değişiklikler iki grup arasında karşılaştırılmıştır.	Vital kapasite (VC) ve alveolar ventilasyon (VA) parametrelerinin tedaviden sonra her iki gruptada da arttığı,deney grubunda kontrol grubuna kıyasla daha anlamlı şekilde artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca deney grubu kontrol grubuna kıyasla günlük yaşam üzerindeki semptom, aktivite ve hastalık etkisinde iyileşme gösterdi.
Akın ve Karahan , 2019	Longitudinal tipte tanımlayıcı	33 hasta	Non-invaziv mekanik ventilasyon tedavisi başlangıcından itibaren ilk 24 saat değerlendirildi ve veriler tedavinin 2., 6., 12. ve 24. saatlerinde kayıt altına alındı. NIMV tedavisi süresince sadece oro-nazal maske kullanıldı.	Non-invaziv mekanik ventilasyon tedavisi uygulanan hastalarda ilk 24 saat içerisinde yüz bölgesi basınç yarası gelişme sıklığının oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.
Ünver ve Yılmaz, 2020	Randomize Kontrollü	Çalışma grubu=44, kontrol grubu=36	Her iki gruptaki hastalar araştırmacı tarafından ameliyat öncesi gün odalarında ziyaret edilmiş ve spirometre ile solunum egzersizi yapma konusunda bilgilendirilmiştir. Çalışma grubundaki hastalara yaptıkları egzersizleri üç gün boyunca solunum egzersizi günlüğüne, kontrol grubundaki hastalara	Günlük kullanımının hastaların egzersiz programlarına uyumunu arttırmada ve düzenli yapmalarına katkı sağlamada gerekli olduğunu göstermektedir. Bu sonuç doğrultusunda araştırmanın H1 hipotezi olan "Ameliyat sonrası dönemde solunum egzersizi günlüğü kullanımının, hastaların düzenli spirometre kullanmalarına etkisi vardır." hipotezi doğrulanmıştır. Buna göre, hastaların ameliyat sonrası dönemde spirometre kullanımının düzenli olup olmadığının

			ise boş bir kağıda not etmeleri istenmiştir.	değerlendirilmesinde günlük kullanımının etkili olduğu görülmektedir.
Sharma & Kaur, 2012	Randomize Kontrollü	260 hasta	Deney grubuna %0,12 klorheksidin glukonat ile ağız bakımı verilmiş olup kontrol grubuna standart ağız bakımı uygulanmıştır.	Günlük % 0,12 klorheksidin ile ağız bakımı, mekanik ventilasyon uygulanmış hastalar arasında VİP'in önlenmesinde etkili bulunmuştur.

8. SONUÇ

Mekanik ventilasyon, kritik bakım gerektiren hastalarda yaşamsal bir destek sağlamaktadır. Hem invaziv hem de non-invaziv yöntemler, hastaların solunum durumlarını iyileştirmekte ve oksijenlenmelerini artırmaktadır. Hemşireler, bu süreçte merkezi bir rol oynamakta; hastaların izlenmesi, bakımının sağlanması ve komplikasyonların önlenmesi konularında önemli sorumluluklar üstlenmektedir. Non-invaziv mekanik ventilasyon yönteminin, hasta konforunu artırması ve entübasyonla ilişkili riskleri azaltması, modern tıptaki gelişmelere ışık tutmaktadır. Mekanik ventilasyondan ayırma süreci, hastanın durumuna göre bireysel olarak planlanmalı ve hemşirelik destekleri ile güçlendirilmelidir. Sonuç olarak, mekanik ventilasyon uygulamaları, etkili bir multidisipliner yaklaşım ve hemşirelik pratiğinin vazgeçilmez bir parçası olarak, hasta bakım kalitesini artırmak için büyük önem taşımaktadır. Hemşirelik alanında sürekli eğitim ve gelişim, bu kritik süreçte başarıyı artırmada önemli bir faktör olmaya devam etmektedir.

KAYNAKÇA

Akın N, Karahan E. (2020). Noninvaziv mekanik ventilasyon desteği alan hastalarda yüz bölgesindeki basınç yarası gelişme sıklığı ve oluşumunu etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Kocaeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi,* 6(1), 45-52.

Akyıl RÇ, Taşkın Yılmaz F, Tülüce D, ve ark. (2025). *Mekanik ventilasyonda hasta bakımı, Hemşireler İçin El Kitapçığı.* Türk Toraks Derneği.

Argın E. (2022). *İnvazif mekanik ventilasyon uygulanan hastalara bakım veren hemşirelerin bilgi düzeylerinin belirlenmesi.* İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim

Enstitüsü.

Aştı TA, Karadağ A. (2016). *Hemşirelik esasları hemşirelik bilim ve sanatı.* Akademi.

Atasayar BŞ. (2023). *Mekanik ventilatöre bağlı hastanın hemşirelik bakımı.* Sağlık Bilimleri Araştırmaları: Hemşirelik & Ebelik, 5(47).

Başara SG, Karabudak SS, Çalışır H, Keleş A, Türkmen MK. (2024). Nazal non- invaziv mekanik ventilasyon uygulanan yenidoğan bebeklerde cilt hasarlanmalarının değerlendirilmesi. *Etkili Hemşirelik Dergisi,* 17(1), 123-133.

Beşiktaş S, Emine E. (2022). Solunum desteği alan preterm yenidoğanlarda pozisyon önceliğinin fizyolojik değişkenlere etkisi: Randomize kontrollü çalışma. *Bezmialem Science*, 10(5):587-595

Bilgin B. (2023). *Non invaziv mekanik ventilasyonla (NIV) takip edilen hastalarda NIV maskesine bağlı basınç ülseri izlemi ve etkileyen faktörler.* Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Demirok S. (2024). *Mekanik ventilasyon desteği alan yoğun bakım hastalarında pozisyonun endotrakeal tüp basıncına etkisinin incelenmesi.* Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Dikmen Y. (2017). Yoğun bakım hastalarında ağız bakımı yönetimi: Kanıta dayalı uygulamalar çerçevesinde literatür incelemesi. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi,* 7(1), 45-52.

Güner CK, Kutlutürkan S. (2020). Mekanik ventilasyon ayırma yöntemleri ve hemşirenin rolü. *Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi,* 2(3), 380-383.

Kara G. (2018). *Mekanik ventilasyon uygulanan hastalarda hemşirelik bakım gereksinimlerinin değerlendirilmesi.* İstanbul Bilim Üniversitesi.

Kara H, Arıkan F. (2020). Tıbbi cihaza bağlı basınç yarasının önlenmesi. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi,* 24(1), 15-21.

Kayser SA, VanGilder CA, Ayello EA, Lachenbruch C. (2018). Prevalence and analysis of medical device-related pressure injuries: Results from the international pressure ulcer prevalence survey. *Advances in Skin & Wound Care*, 31(6), 276.

Kurt M. (2022). Yoğun bakım ünitesinde sık görülen sağlık hizmetiyle ilişkili enfeksiyonların önlenmesinde kanıta dayalı uygulamalar. *Türkiye Sağlık Araştırmaları Dergisi*, 2(3), 25-44.

Mülazimoğlu DD, Kaya A. (2015). Bronşektazide ilerlemiş hastalığın kontrolü: Oksijen tedavisi, non-invaziv mekanik ventilasyon ve akciğer transplantasyonu. *ASYOD.* s:144-147.

Olmaz D. (2023). *Mekanik ventilasyon desteğindeki hastalarda aspirasyon öncesi uygulanan göğüs fizyoterapi tekniklerinin yaşam bulguları, kan gazı değerleri ve sekresyon*

miktarına etkisi. İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Onarıcı,M, Karadağ, M. (2015). Mekanik ventilasyondaki hastalarda ventilatör ilişkili pnömoniyi önlemede pozisyonun önemi. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi,* 2(2), 70-74.

Özen N, Armutçu B. (2018). Ventilatör ilişkili pnömoninin önlenmesinde yoğun bakım hemşirelerinin kanıta dayalı uygulamalara ilişkin bilgi düzeyleri. *Dahili ve Cerrahi Bilimler Yoğun Bakım Dergisi,* 9(3), 78-83.

Sağır İY. (2021). *Solunum yetmezliği olan hastalarda noninvaziv mekanik ventilasyon maskesine bağlı gelişen basınç yaralanmasının önlenmesinde farklı deri örtülerinin etkisi.* Medipol Üniversitesi.

Sepahyar M, Molavynejad, S, Adineh M., Savaie M, Maraghi E. (2021). The effect of nursing interventions based on burns wean assessment program on successful weaning from mechanical ventilation: A randomized controlled clinical trial. *Iranian Journal of Nursing and Midwifery Research,* 26(1), 34-41.

Turan İ. (2024). *Noninvaziv mekanik ventilasyondan ayırma sonrası çocuğa verilen pozisyonun fizyolojik belirtilere etkisi.* İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa.

Ünver S, Yılmaz M. (2020). Ameliyat sonrası dönemde solunum egzersizi günlüğü kullanımının düzenli spirometre kullanımına etkisi: Randomize kontrollü çalışma. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi,* 7(2), 161-166.

Walter K. (2021). *Mechanical ventilation.* Jama, 326(14), 1452-1452.

Yıldırım B. (2023). *Kolcaba'nın konfor kuramına göre non-invaziv mekanik ventilatör desteği alan hastaların yaşam kalitesi ve konfor düzeylerinin incelenmesi.* İzmir Katip Çelebi Üniversitesi.

Zhang Q, Liu S, Gu G, Wu L, Zhu Z, Mao Y, Zhang F. (2021). Effect of high quality nursing and respiratory training on pulmonary function and quality of life in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *American Journal of Translational Research,* 13(11), 13209.

LOTUS DOĞUMUNUN YENİDOĞAN ÜZERİNDEKİ FİZYOLOJİK VE PSİKOLOJİK ETKİLERİ

PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL EFFECTS OF LOTUS BIRTH ON THE NEWBORN

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÇUVADAR
e-mail: aysecuvadar@karabuk.edu.tr
ORCID ID:0000-0002-7917-0576
Ayşe Melike DÜZYER
e-mail: melikeduzyer69@gmail.com
ORCID ID: 0009-0009-3481-6327

Özet

Lotus doğum, doğum sonrası göbek kordonunun kesilmeden bebeğe bağlı kalması sürecini ifade eder. Bu uygulama, özellikle doğal doğum yöntemlerine ilgi duyan ebeveynler arasında tercih edilmektedir. Lotus doğumunun fizyolojik açıdan önemli yararları bulunmaktadır. Göbek kordonunun kesilmemesi, plasentadan bebeğe kan geçişinin devam etmesine olanak tanır. Bu durum, yenidoğanın kan hacmini artırarak dolaşım desteği sağlar ve demir depolarının korunmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, geç kordon kesiminin, demir eksikliği anemisinin önlenmesinde etkili olabileceği öne sürülmektedir. Psikolojik açıdan, lotus doğum annelere doğum sürecinde daha huzurlu bir deneyim sunabilir. Anne ile bebek arasındaki erken temas, oksitosin salınımını artırarak bağlanmayı destekler. Ayrıca, bazı kültürlerde plasentanın manevi değeri yüksek kabul edilir ve lotus doğum, bu anlayışı pekiştiren bir uygulama olarak kabul edilmektedir. Ancak lotus doğumun bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Plasentanın doğum sonrası canlılığını yitirmesi, bakteri üremesi için uygun bir ortam yaratabilir ve yenidoğanda enfeksiyon riskini artırabilir. Ayrıca, plasentanın bebeğe bağlı kalması pratik zorluklar yaratabilir. Bebek taşıma ve plasentanın özel koşullarda saklanması gerekebilir. Acil durumlarda ise, göbek kordonunun hala bağlı olması, tıbbi müdahaleleri geciktirebilir. Bu nedenle, lotus doğum her sağlık kuruluşunda uygulanan bir yöntem değildir.

Bu derleme, lotus doğumun avantajlarını ve dezavantajlarını bilimsel bir bakış açısıyla ele almakta, bu yöntem hakkında daha fazla araştırma yapılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Lotus doğum, fizyolojik etki, psikolojik etki

Abstract

Lotus birth refers to the process in which the umbilical cord remains attached to the baby after birth without being cut. This practice is particularly preferred by parents interested in natural birth methods. Lotus birth has significant physiological benefits. By keeping the umbilical cord intact, the blood flow from the placenta to the baby continues for a period of time. This can increase the newborn's blood volume, improve circulation, and help preserve iron stores. Moreover, delayed cord cutting is suggested to be effective in preventing iron deficiency anemia. Psychologically, lotus birth can offer a more peaceful experience for mothers during labor. Early contact between the mother and baby increases oxytocin release, supporting bonding. Additionally, in some cultures, the placenta is considered to have spiritual value, and lotus birth is seen as a practice that reinforces this belief.

However, lotus birth also has some disadvantages. After birth, the placenta loses its vitality and becomes a suitable environment for bacterial growth, which can increase the risk of infections in the newborn. Moreover, keeping the placenta attached to the baby can create practical challenges, such as the need for special storage conditions and careful handling of the baby. In emergency situations, the continued attachment of the umbilical cord may delay medical interventions. For these reasons, lotus birth is not a widely practiced method in all healthcare institutions.

This review discusses the advantages and disadvantages of lotus birth from a scientific perspective and emphasizes the need for further research on this method.

Keywords: Lotus birth, physiologic action, psychological effect

Giriş

Lotus doğum, doğum sonrasında plasentanın bütünlüğü bozulmadan, göbek kordonunun kesilmeden ve kendi kendine doğal yolla ayrılmasının beklenmesi esasına dayanan bir uygulamadır. Bu yöntemde, bebeğin dış dünyaya herhangi bir tıbbi müdahale ya da fiziksel travma olmaksızın geçiş yaptığı savunulmaktadır (Zinsser, 2018). Türkiye'de lotus doğuma ilişkin kesin ve kapsamlı istatistiksel veriler bulunmamakla birlikte, bazı kadınların bu yöntemi tercih ettiği gözlemlenmektedir. Lotus doğum deneyimlerini inceleyen fenomenolojik bir nitel araştırmada, kadınların bu süreci genel olarak olumlu algıladıkları ve deneyimlerinden memnuniyet duydukları rapor edilmiştir (Gönenç et al., 2019).

Lotus doğum uygulaması, ismini bu yöntemin savunucularından Claire Lotus Day'den almaktadır. Day, doğumun hemen ardından göbek kordonunun kesilmesine yönelik yaygın pratiği sorgulamış ve primatolog Jane Goodall'ın, şempanzelerin yavrularında göbek kordonunu kesmediklerini ortaya koyan araştırmalarına ulaşmıştır. Bu bilgiler ışığında, 1974 yılında Avustralya'da gerçekleşen doğumunda bebeğinin göbek kordonunun doğal yollarla ayrılmasını tercih etmiştir. Aynı dönemde, Amerikalı ebe ve yoga eğitmeni Jeannine Parvati Baker ile Avustralyalı doğum aktivisti Shivam Rachana da lotus doğumun savunucuları arasında yer almışlardır (Buckley, 2003).

Lotus Doğumda Dikkat Edilmesi Gereken Klinik ve Hijyenik Uygulamalar

Plasentanın Temiz ve Güvenli Şekilde Saklanması: Doğumdan sonra canlılığını yitiren plasenta, mikrobiyal kontaminasyon açısından risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, enfeksiyonların önlenmesi amacıyla plasentanın doğal antiseptik özellik taşıyan bitkiler (örneğin lavanta, adaçayı) ile kaplanması ve hava geçirgen özellikteki kumaşlarla sarılarak kurutulması önerilmektedir. Bu uygulama, plasentanın bozulmasını engelleyerek hijyenik koşulların korunmasına katkı sağlar (Karaşın & Kızılkaya, 2022).

Mikrobiyal Bulaşlara Karşı Önleyici Yaklaşım: Doğum sonrası fizyolojik işlevini tamamlayan plasenta, mikrobiyal üremeye elverişli bir ortam oluşturabilir. Bu durum, yenidoğanın sağlığını tehdit eden enfeksiyonlara yol açabileceğinden, sterilite koşullarına titizlikle uyulmalı ve süreç boyunca düzenli takip sağlanmalıdır.

Kordonun Kendi Kendine Ayrılması Sürecinde Dikkat Edilmesi Gerekenler: Göbek kordonunun doğal yollarla ayrılması genellikle yaklaşık bir hafta sürebilmektedir. Bu süreçte, plasentanın taşınması sırasında kordonun çekilmemesine ve bebeğe herhangi bir fiziksel zarar verilmemesine özen gösterilmelidir (Gönenç et al., 2019).

Tablo 1. Lotus Doğumu ile Rutin Doğum Uygulamalarının Karşılaştırılması (Karaşın & Kızılkaya, 2022; Pendleton, 2023; Sivasanker et al.).

KRİTER	LOTUS DOĞUM UYGULAMASI	RUTİN DOĞUM UYGULAMASI
Göbek Kordonu İşlemi	Kordon kesilmeden, kendiliğinden ayrılması beklenir.	Kordon doğumdan kısa bir süre sonra kesilir.
Plasentanın Yönetimi	Plasenta bebeğe bağlı bırakılır ve hijyenik koruma sağlanır.	Plasenta çıkarıldıktan sonra tıbbi atık prosedürlerine uygun şekilde ayrılır.
Enfeksiyon Riski	Plasentanın nekrozu nedeniyle enfeksiyon riski artabilir.	Kordon steril koşullarda kesildiği için enfeksiyon riski düşüktür.
Bebeğin Dış Dünyaya Adaptasyonu	Doğal bir geçiş sağlanarak bebeğin rahim dışı yaşama uyumu kolaylaştırılabilir.	Standart doğum uygulamaları ile bebeğin adaptasyonu desteklenir.
Tıbbi Müdahale Düzeyi	Müdahale en aza indirgenir, doğal süreç desteklenir.	Gerektiğinde protokolle uygun tıbbi müdahale yapılır.
Manevi ve Simgesel Anlamı	Bebeğin ve plasentanın bir bütün olarak görülmesiyle doğumun manevi yönü vurgulanır.	Tıbbi süreçler ön planda olup, manevi boyut ikincil olabilir.

Yenidoğanda Sarılık Belirtilerinin İzlenmesi: Göbek kordonunun geç ayrıldığı bazı durumlarda yenidoğanda sarılık gelişebilir. Bu nedenle, bebeğin cilt renginde ve skleralarda sarımsı renk değişimi gibi belirtiler yakından izlenmeli; şüpheli bulgular görüldüğünde derhal bir sağlık profesyoneline başvurulmalıdır (Tricarico et al., 2017).

Sürecin Uzman Eşliğinde Yürütülmesi: Lotus doğumu tercih eden ailelerin, süreci sağlık alanında deneyimli bir profesyonelin rehberliğinde yürütmeleri önem arz etmektedir. Uzman desteği, olası komplikasyonların erken dönemde fark edilmesini sağlayarak gerekli durumlarda tıbbi müdahaleye olanak tanır (Gönenç et al., 2019).

Tablo 2. Lotus Doğum Uygulamasının Olası Fizyolojik ve Psikososyal Yararları (Chaparro, 2011; SONAR, 2023; Tolosa et al., 2010)

Avantajlar	
Doğal ve Sağlıklı Bir Başlangıç	Yenidoğanın yaşamına, doğanın akışına müdahale edilmeden uyum sağlaması desteklenir.
Nazik Bir Geçiş Sağlar	Bebeğin rahim dışına geçişi daha yumuşak ve travmasız gerçekleşir.
Daha Huzurlu Bebekler	Lotus doğumla dünyaya gelen bebeklerin daha sakin ve dengeli olduğu gözlemlenebilir.
Artan Kan Hacmi	Plasenta ile bağlantının korunması sayesinde bebeğin toplam kan hacmi artar.
Göbek Bölgesinde Daha Az Travma	Kordon kesilmediği için göbek çevresinde hasar ve enfeksiyon riski azalır.
Eksiksiz Kan ve Besin Aktarımı	Bebek, göbek kordonu aracılığıyla tüm kan hücreleri ve besin maddelerinden tam anlamıyla yararlanır.
Manevi Bir Bağ Kurulması	Bebeğin plasentasıyla bağı sürdürmesi, doğuma daha anlamlı ve ruhani bir boyut katar.
Demir Desteği Sağlar	Tam kan transferi, demir depolarını artırarak beyin gelişimi için önemli bir katkı sunar.

Lotus Doğumun Yenidoğan Üzerindeki Fizyolojik Etkileri

Lotus doğumun olası fizyolojik etkileri çeşitli yönleriyle değerlendirilmektedir. Göbek kordonunun kesilmeden bırakılması, yenidoğana daha fazla miktarda kan geçişine olanak tanıyarak hemoglobin düzeylerinin yükselmesine ve demir depolarının artmasına katkı sağlayabilir (Kızılkaya & Batuhan Karaşın, 2022). Bu durum, özellikle beyin gelişimi açısından kritik öneme sahip olan demir desteğini doğal yoldan sunar. Ayrıca, göbek kordonunun hemen kesilmemesi, doğum sonrası anne-bebek arasında gerçekleşen ten teması süresini uzatarak oksitosin salınımını artırır ve bu sayede bağlanma sürecini olumlu yönde etkiler (Bonsignore et al., 2019). Bu uygulamayla doğan bebeklerde, dış çevreye adaptasyonun daha sakin ve uyumlu şekilde gerçekleştiği, genel davranışsal tepkilerinin daha huzurlu olduğu gözlemlenmiştir.

Öte yandan, lotus doğumun bazı potansiyel riskleri de bulunmaktadır. Göbek kordonunun geç ayrılması, bebeğe fazla miktarda eritrosit geçişine neden olarak bilirubin düzeyinin artmasına ve dolayısıyla neonatal sarılık riskinin yükselmesine yol açabilir (Zinsser, 2018). Ayrıca, doğumdan sonra canlılığını yitiren plasentanın vücut dışında tutulması, bakteriyel kolonizasyon için uygun bir zemin oluşturarak enfeksiyon ve sepsis gibi ciddi sağlık sorunlarına zemin hazırlayabilir (Ittleman & Szabo, 2018). Doğumdan hemen sonra yenidoğanın fizyolojik adaptasyonu, özellikle dolaşım ve solunum sistemlerinin çevresel koşullara uyum sağlamasıyla ilişkilidir. Lotus doğum uygulamasında, göbek kordonunun kesilmemesi nedeniyle plasentadan bebeğe kan geçişi bir süre daha devam edebilir. Bu durum, yenidoğanın kan hacmini artırarak oksijen taşıma kapasitesini iyileştirebilir ve neonatal anemi riskini azaltabilir (Tricarico et al., 2017). Ayrıca, lotus doğumdan bağımsız olarak geç kordon kesiminin, yenidoğanın demir düzeylerini artırarak ilk altı aylık gelişim sürecine olumlu katkı sağladığına dair bulgular da mevcuttur (McDonald et al., 2014).

Bununla birlikte, lotus doğumda göbek kordonunun saatler veya günler boyunca bağlı kalması, sterilite koşullarının korunmasını zorlaştırmakta ve enfeksiyon riskini artırmaktadır. Plasenta, doğum sonrası kısa sürede canlılığını yitirdiğinden, bakteriyel üreme açısından uygun bir ortam haline gelir. Nitekim 2020 yılında bildirilen bir olguda, lotus doğumu takiben yenidoğanda Staphylococcus kaynaklı sepsis geliştiği rapor edilmiştir (Ittleman et al., 2019).

Lotus Doğumun Yenidoğan Üzerindeki Psikolojik Etkileri

Bebek doğumdan sonraki ilk saatlerde, psikolojik bağlanmanın temellerinin atıldığı kritik bir döneme girer. Lotus doğum uygulamasında göbek kordonunun kesilmemesi, bebeğin anneyle daha uzun süre ten teması kurmasına olanak tanıyarak oksitosin salınımını artırabilir ve anne-bebek arasındaki duygusal bağın güçlenmesini destekleyebilir. 2022 yılında yayımlanan bir niteliksel çalışmada, lotus doğumu tercih eden annelerin büyük bir kısmının bu uygulamayı “manevi bütünlük” ve “bebekle derin bir bağ kurma” arzusuyla benimsediği bildirilmiştir (Karim et al., 2024). Emzirme davranışlarının düzenli gelişimi ve anne sütünün sağlıklı biçimde gelmesi, doğum sonrası kurulan fiziksel temas ve güven duygusuyla yakından ilişkilidir. Bu çerçevede, lotus doğumun psikolojik açıdan olumlu etkiler sağlayabileceği düşünülmektedir. Ancak söz konusu etkiler büyük ölçüde bireysel deneyimlere dayandığı için, bu bulguların genellenebilmesi adına daha fazla sayıda kontrollü çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır (Brown et al., 2022).

Tablo 3. Lotus doğumun avantaj ve dezavantajları (Birth, 2020; Karaşın & Kızılkaya, 2022; Karim et al., 2024; McDonald et al., 2014)

Avantajlar ve dezavantajlar	Açıklama
Fizyolojik Yararlar	Göbek kordonunun kesilmemesi sayesinde bebeğe daha fazla kan geçişi olur; bu da kan hacmini artırarak demir depolarını korur ve dolaşımı destekler.
Psikolojik ve Duygusal Faydalar	Anne-bebek arasında erken dönemde kurulan uzun süreli ten teması, bağlanmayı güçlendirir ve doğumun daha huzurlu geçmesine katkı sağlar.
Spiritüel ve Kültürel Yönler	Bazı kültürlerde plasenta kutsal kabul edilir; lotus doğum bu inanışı destekleyerek doğumu manevi bir ritüele dönüştürür.
Enfeksiyon Riski	Plasentanın canlılığını hızla kaybetmesi nedeniyle enfeksiyon riski artar; uygun steril koşullar sağlanmazsa sepsis gibi ciddi sorunlar ortaya çıkabilir.
Pratik Zorluklar ve Bakım	Plasentanın bebeğe bağlı kalması günlük hareketleri zorlaştırır, özel saklama ve taşıma gerektirir; bu durum bakım yükünü artırır.
Tıbbi Müdahale Sınırlamaları	Acil tıbbi müdahalelerde kordonun kesilmemiş olması müdahaleyi geciktirebilir; bu nedenle birçok sağlık kuruluşu lotus doğumu rutin olarak uygulamamaktadır.

KAYNAKÇA

Birth, D. U. C. C. A. (2020). ACOG Committee Opinion. *Number*, *814*, 136.

Bonsignore, A., Buffelli, F., Ciliberti, R., Ventura, F., Molinelli, A., & Fulcheri, E. (2019). Medico-legal considerations on “Lotus Birth” in the Italian legislative framework. *Italian Journal of Pediatrics*, *45*, 1-6.

Brown, B. E., Shah, P. S., Afifi, J. K., Sherlock, R. L., Adie, M. A., Monterrosa, L. A., Crane, J. M., Ye, X. Y., El-Naggar, W. I., & Beltempo, M. (2022). Delayed cord clamping in small for gestational age preterm infants. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, *226*(2), 247. e241-247. e210.

Buckley, S. J. (2003). Lotus birth: a ritual for our times. *Midwifery Today*, 36-38.

Chaparro, C. M. (2011). Timing of umbilical cord clamping: effect on iron endowment of the newborn and later iron status. *Nutrition reviews*, *69*(suppl_1), S30-S36.

Gönenç, İ. M., Aker, M. N., & Ay, E. (2019). Qualitative study on the experience of lotus birth. *Journal of Obstetric, Gynecologic & Neonatal Nursing*, *48*(6), 645-653.

Ittleman, B. R., German, K. R., Scott, E., Walker, V., Flaherman, V. J., Szabo, J., & Beavers, J. B. (2019). Umbilical cord nonseverance and adverse neonatal outcomes. *Clinical Pediatrics*, *58*(2), 238-240.

Ittleman, B. R., & Szabo, J. S. (2018). Staphylococcus lugdunensis sepsis and endocarditis in a newborn following lotus birth. *Cardiology in the Young*, *28*(11), 1367-1369.

Karaşın, F. B., & Kızılkaya, T. (2022). Plasentaya Spiritüel Yaklaşım: Lotus Doğum. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*(16), 324-331.

Karim, F., Khan, A. N. S., Chowdhury, M. A. K., Haque, T., Rokonuzzaman, S., Lotus, S. U., Billah, S. M., Khan, M. S., & Siraj, M. S. (2024). Trends in prevalence and determinants of unintended pregnancy among Bangladeshi women from 2007 to 2018: A comparative analysis of multiple Demographic Health Surveys. *medRxiv*, 2024.2007. 2010.24310199.

Kızılkaya, T., & Batuhan Karaşın, F. (2022). Plasentaya Spiritüel Yaklaşım: Lotus Doğum [Spiritual Approach to the Placenta: Lotus Birth]. *İstanbul Gelişim Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*(16), 324-331. https://doi.org/10.38079/igusabder.863314

McDonald, S. J., Middleton, P., Dowswell, T., & Morris, P. S. (2014). Effect of timing of umbilical cord clamping of term infants on maternal and neonatal outcomes. *Evidence-Based Child Health: A Cochrane Review Journal*, *9*(2), 303-397.

Pendleton, J. (2023). First stage of labour at home. *Home Birth-E-Book*, 46.

Sivasanker, A. A., Barari, N., Singh, A., & Singh, T. Protocol for a Systematic Review of “Lotus Birthing Method: Friend or Foe”.

SONAR, M. (2023). LOTUS BIRTH. *Journal of Applied Science And Research*, *11*(1), 1-4.

Tolosa, J. N., Park, D. H., Eve, D. J., Klasko, S. K., Borlongan, C. V., & Sanberg, P. R. (2010). Mankind's first natural stem cell transplant. *J Cell Mol Med*, *14*(3), 488-495. https://doi.org/10.1111/j.1582-4934.2010.01029.x

Tricarico, A., Bianco, V., Di Biase, A. R., Iughetti, L., Ferrari, F., & Berardi, A. (2017). Lotus birth associated with idiopathic neonatal hepatitis. *Pediatrics & Neonatology*, *58*(3), 281-282.

Zinsser, L. A. (2018). Lotus birth, a holistic approach on physiological cord clamping. *Women Birth*, *31*(2), e73-e76. https://doi.org/10.1016/j.wombi.2017.08.127

TAMAMLAYICI TIPTA AROMATERAPİ: DOĞUM SÜRECİNE ENTEGRASYONU ÜZERİNE BİR İNCELEME

AROMATHERAPY İN COMPLEMENTARY MEDİCİNE: A REVİEW OF ITS INTEGRATİON İNTO THE BİRTH PROCESS

Seçilnur ABDULOĞLU

e-mail: secil_busra037@icloud.com

ORCID ID:0009-0005-5086-1356

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÇUVADAR

e-mail: aysecuvadar@karabuk.edu.tr

ORCID ID:0000-0002-7917-0576

Özet

Bu derleme, aromaterapinin doğum sürecindeki rolünü ve etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Özellikle uçucu yağların doğum sürecindeki fizyolojik ve psikolojik rahatlama üzerindeki potansiyel faydaları ele alınmaktadır. Aromaterapi, doğum sırasında anksiyete, ağrı yönetimi ve stresle başa çıkma konusunda yardımcı olabilecek doğal bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. Lavanta, gül, sardunya ve papatya gibi uçucu yağların, doğum sürecinde ağrı algısını hafifletmeye, kaygıyı azaltmaya ve doğum ortamını daha huzurlu bir hale getirmeye katkı sağladığı çeşitli çalışmalarda ortaya konmuştur. Bu yöntem, farmakolojik tedavilere kıyasla daha az yan etkiye sahip olması nedeniyle tercih edilebilir bir alternatif sunmaktadır.

Aromaterapinin etkili olabilmesi için uygulamanın doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi ve uzman kişiler tarafından yönetilmesi gerekmektedir. Bu derleme, aromaterapinin doğum sürecine entegrasyonunun güvenli bir şekilde yapılabilmesi için ebe ve hemşirelerin kritik rolünü vurgulamaktadır. Ayrıca, bireysel farklılıklar ve olası yan etkiler göz önünde bulundurularak aromaterapinin yalnızca destekleyici bir araç olarak kullanılması gerektiği belirtilmektedir. Sonuç olarak, aromaterapi, doğum sürecine ilişkin deneyimlerin iyileştirilmesinde etkili bir yöntem olarak değerlendirilebilir, ancak profesyonel rehberlik ve doğru uygulama yöntemleriyle güvenli kullanımının sağlanması önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Aromaterapi, Doğum süreci, Ağrı yönetimi

Abstract

This review aims to examine the role and effects of aromatherapy during the birth process. Specifically, it focuses on the potential benefits of essential oils on the physiological and psychological relaxation of women in labor. Aromatherapy is emerging as a natural method that can help manage anxiety, pain, and stress during childbirth. Essential oils such as lavender, rose, geranium, and chamomile have been shown to alleviate pain perception, reduce anxiety, and contribute to creating a more peaceful birth environment. This method offers a preferable alternative due to its relatively lower risk of side effects compared to pharmacological treatments. For aromatherapy to be effective, it must be implemented properly and managed by trained professionals. This review emphasizes the critical role of midwives and nurses in the safe integration of aromatherapy into the birth process. Additionally, it highlights the importance of using aromatherapy as a supportive tool, taking into account individual differences and potential side effects. In conclusion, aromatherapy can be considered an effective method for improving birth experiences, but its safe use requires professional guidance and appropriate application techniques.

Keywords: Aromatherapy, Birth process, Pain management

GİRİŞ

Aromaterapi, bitkilerden damıtma veya sıkma gibi yöntemlerle elde edilen uçucu yağların, fiziksel ve zihinsel sağlığı desteklemek amacıyla terapötik olarak kullanıldığı tamamlayıcı bir tedavi yöntemidir (1). Bitkisel tedavi anlamına gelen fitoterapinin bir alt dalı olarak kabul edilen aromaterapide, yalnızca uçucu yağlar kullanılmakta; bu yağlar "esans" ya da "eterik yağ" olarak da adlandırılmaktadır. Oda sıcaklığında buharlaşabilen bu yağlar, soluma, masaj, friksiyon, kompres veya banyo gibi çeşitli uygulama yollarıyla bedensel ve ruhsal iyilik haline katkı sağlamayı hedefler (5). Arkeolojik veriler, esansiyel yağların ve aromatik bitkilerin damıtılarak kullanımının yaklaşık 5000 yıl öncesine dayandığını göstermektedir (1).

Doğum, fetüsün intrauterin yaşamdan ekstrauterin yaşama geçişini sağlayan fizyolojik bir süreçtir. Uterin kasılmalar, servikal dilatasyon ve hormonal değişimlerle ilerleyen bu süreç; açılma evresi,

fetüsün doğumu ve plasentanın ayrılması olmak üzere üç evrede gerçekleşir. Bununla birlikte doğum, yalnızca biyolojik değil; aynı zamanda psikolojik ve sosyokültürel boyutları da olan kapsamlı bir yaşam olayıdır (2,3).

Günümüzde doğum sürecinde tamamlayıcı ve alternatif tıp (TAT) uygulamalarına yönelik ilgi artmaktadır. Kadınlar doğum sırasında ağrıyı azaltmak, stresle baş etmek ve rahatlamak amacıyla akupunktur, hipnoz, masaj ve aromaterapi gibi yöntemlere yönelmektedir. TAT uygulamaları, doğum deneyiminin iyileştirilmesine katkı sağlama potansiyeline sahip olmakla birlikte, bu yöntemlerin etkinliği ve güvenliği konusunda daha fazla bilimsel kanıta ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, sağlık profesyonelleri TAT yaklaşımlarını bireysel gereksinimler ve hasta tercihleri doğrultusunda, geleneksel tıbbi uygulamalarla bütüncül biçimde değerlendirmelidir (4).

Bu derlemenin amacı, aromaterapinin doğum sürecine etkilerine ilişkin güncel literatürü inceleyerek, bu yöntemin doğum bakımındaki yerini bilimsel bir çerçevede değerlendirmektir. Çalışmalarda aromaterapinin; doğum ağrısının hafifletilmesi, kaygı ve stresin azaltılması, doğum süresine etkisi ve genel doğum deneyimi üzerindeki katkıları ele alınmaktadır. Ayrıca, sıklıkla tercih edilen esansiyel yağ türleri, uygulama yöntemleri ve sağlık profesyonellerinin bu yaklaşıma yönelik tutumları da değerlendirilmiştir.

Aromaterapinin Uygulama Yolları

Uçucu yağlar genellikle düşük toksisiteye sahip olsa da yanlış kullanım durumunda yan etkilere neden olabilirler. Özellikle yüksek dozlarda veya uzun süreli kullanımlarda, bazı uçucu yağlar cilt tahrişine, alerjik reaksiyonlara veya toksik etkilere yol açabilir. Dozaj, kullanılan yağın türüne ve uygulama yöntemine bağlı olarak değişir. Aromaterapi için genellikle 2–3 damla uçucu yağ, bir difüzöre eklenerek kullanılabilir. Topikal uygulamalarda ise uçucu yağlar, taşıyıcı yağlarla seyreltilerek kullanılmalıdır. Özellikle gebeler, emziren kadınlar ve çocuklar gibi hassas grupların uçucu yağları kullanmadan önce bir sağlık profesyoneline danışmaları önerilir (6).

Uçucu yağlar, kimyasal bileşimleri ve biyolojik aktiviteleri sayesinde çeşitli terapötik faydalar sunmaktadır. Ancak, güvenli ve etkili kullanım için doğru dozaj, uygun uygulama yöntemleri ve bireysel hassasiyetler göz önünde bulundurulmalıdır. Gelecekteki araştırmalar, uçucu yağların mekanizmalarını daha ayrıntılı bir şekilde ortaya koyarak, bu doğal bileşiklerin potansiyelini daha iyi değerlendirmemize yardımcı olacaktır (6).

Tablo 1. Yaygın Kullanılan Uçucu Yağların Özellikleri, Kullanım Alanları ve Aktif Bileşenleri (7,8,9)

Uçucu Yağ Türü	Özellikler	Kullanım Alanları	Aktif Bileşikler
Lavanta Yağı	Sakinleştirici, rahatlatıcı, uyku düzenleyici	Anksiyete, depresyon, uykusuzluk, baş ağrısı	Linalool, linalyl asetat
Nane Yağı	Ferahlatıcı, ağrı kesici, sindirimi kolaylaştırıcı, enerji verici	Baş ağrısı, mide bulantısı, sindirim problemleri, soğuk algınlığı	Mentol, menton
Çay Ağacı Yağı	Antiseptik, antifungal, antibakteriyel	Cilt enfeksiyonları, akne, soğuk algınlığı, solunum yolu hastalıkları	Terpinen-4-ol, alfa-terpinene
Yasemin Yağı	Romantik, rahatlatıcı, stres azaltıcı	Depresyon, kaygı, cilt sağlığı, doğum sancıları	Benzil asetat, benzil alkol
Sedir Yağı	Sakinleştirici, dengeleyici, odaklanmayı artırıcı	Kaygı, uykusuzluk, stres azaltma	Alfa-santalol, beta-santalol
Okaliptüs Yağı	Antiseptik, ağrı kesici, solunum yollarını açıcı	Soğuk algınlığı, grip, burun tıkanıklığı, kas ağrıları	1,8-sineol (eucalyptol), alfa-pinene
Limon Yağı	Canlandırıcı, antiseptik, bağışıklık güçlendirici	Sindirim, detoksifikasyon, depresyon, zihinsel yorgunluk	Limonene, gamma-terpinene
Karanfil Yağı	Antiseptik, antibakteriyel, ağrı kesici	Diş ağrıları, enfeksiyonlar, kas ağrıları, cilt sağlığı	Eugenol, eugenyl asetat

Gül Yağı	Romantik, rahatlatıcı, duygusal dengeyi sağlayıcı	Stres, depresyon, cilt sorunları, ruhsal iyileşme	Geraniol, nerol
Narenciye Yağları	Canlandırıcı, rahatlatıcı, antiseptik	Stresin azaltılması, sindirim problemleri, cilt sağlığı	Limonene, limonene oxide
Geranium Yağı	Dengeleyici, rahatlatıcı, anti-inflamatuar	Stres, depresyon, cilt sağlığı (özellikle kuru ciltler), hormon dengesizliği	Geraniol, citronellol
Kuşburnu Yağı	Cilt onarıcı, anti-aging, nemlendirici	Cilt sağlığı, yara iyileşmesi, kırışıklıkların azaltılması	Retinol (Vitamin A), linoleik asit

Doğum Sürecinde Aromaterapinin Kullanım Alanları

Gebelikte Aromaterapinin Kullanım Alanları: Kaygı, Uyku ve Fiziksel Rahatlama

Gebelik, kadınlar açısından hem fizyolojik hem de psikolojik açıdan zorlu bir süreç olarak değerlendirilmektedir. Bu dönemde yaşanan hormonal ve fiziksel değişiklikler, kaygı, stres, uyku bozuklukları ve kas ağrıları gibi çeşitli sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Aromaterapi, gebelik sürecinde bu semptomların yönetimine katkı sağlayabilecek tamamlayıcı bir yöntem olarak öne çıkmaktadır.

Kaygı ve Stresin Yönetimi: Lavanta (Lavandula angustifolia) ve bergamot (Citrus bergamia) gibi uçucu yağların sedatif ve anksiyolitik etkileri, gebelik döneminde yaşanan kaygı düzeylerini azaltmada potansiyel fayda sunmaktadır. Literatürde yer alan çeşitli çalışmalar, bu yağların solunum yoluyla uygulanmasının gebelerde psikolojik rahatlama sağladığını ve stresle başa çıkma becerilerini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Uyku Düzeninin Desteklenmesi: Gebelik döneminde sık karşılaşılan sorunlardan biri olan uyku bozuklukları, yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Özellikle lavanta yağının rahatlatıcı özellikleri sayesinde, uykuya geçiş süresini kısalttığı ve uyku kalitesini artırdığı yönünde bulgular mevcuttur. Bu nedenle, lavanta aromaterapisi gebelerde uykusuzlukla baş etmede destekleyici bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Fiziksel Rahatlama ve Kas Gerginliğinin Azaltılması: Gebeliğin ilerleyen haftalarında artan vücut ağırlığı ve postüral değişiklikler, kas gerginliği ve lokal ağrılara neden olabilmektedir. Nane (Mentha piperita) ve lavanta yağları, analjezik ve kas gevşetici etkileri nedeniyle, özellikle sırt, bel ve bacak bölgelerinde rahatlama sağlamak amacıyla masaj yoluyla uygulanabilmektedir.

Doğum Sürecinde Aromaterapinin Kullanımı: Ağrı, Duygusal Destek ve Solunumun Düzenlenmesi

Ağrı Yönetimi: Doğum eylemi sırasında karşılaşılan ağrının yönetimi, anne konforunu artırmada kritik bir öneme sahiptir. Lavanta (Lavandula angustifolia) ve yasemin (Jasminum officinale) uçucu yağlarının, doğum ağrılarının şiddetini azaltmaya yönelik olumlu etkiler gösterdiği çeşitli çalışmalarda rapor edilmiştir. Bu yağların analjezik ve gevşetici özellikleri, doğum sürecini daha tolere edilebilir hâle getirebilmektedir.

Duygusal Destek ve Ruh Hâli Düzenlemesi: Doğumun ilerleyen evrelerinde, anksiyete, korku ve gerginlik gibi duygusal durumlar sıklıkla gözlemlenmektedir. Çay ağacı (Melaleuca alternifolia) ve sandal ağacı (Santalum album) gibi uçucu yağlar, sakinleştirici etkileri sayesinde anne adayının psikolojik durumunu iyileştirmeye yardımcı olabilmektedir. Bu yağların inhalasyon yoluyla uygulanması, duygusal rahatlamayı destekleyerek doğum sürecini olumlu yönde etkileyebilir.

Solunumun Desteklenmesi: Doğum sırasında düzenli ve derin solunum hem annenin hem de fetüsün oksijenlenmesi açısından hayati önem taşımaktadır. Okaliptüs (Eucalyptus globulus) yağı, içerdiği 1,8-sineol bileşiği sayesinde solunum yollarını açıcı etki gösterir ve doğum sırasında solunumun kolaylaştırılmasına katkı sağlayabilir (10,11).

Doğum Sonrası Dönemde Aromaterapinin Kullanımı: Fiziksel İyileşme, Laktasyonun Desteklenmesi ve Psikolojik Sağlık

Fiziksel İyileşme ve Rahatlama: Doğumu takiben, uterusun kasılması, perine bölgesindeki hassasiyet ve genel kas gerginlikleri gibi rahatsızlıklar sıkça gözlemlenir. Lavanta (Lavandula angustifolia) ve nane (Mentha piperita) uçucu yağları, analjezik ve kas gevşetici özellikleri sayesinde postpartum ağrıların hafifletilmesinde etkili olabilir. Bu yağların, taşıyıcı yağlarla seyreltilerek uygulandığı aromaterapi masajları hem fiziksel rahatlamayı hem de dolaşımı destekleyici etkiler sunabilir.

Laktasyonun Desteklenmesi: Emzirme süreci, hormonal değişikliklerin yanı sıra psikolojik faktörlerden de etkilenmektedir. Kekik (Thymus vulgaris) ve fesleğen (Ocimum basilicum) uçucu

yağlarının, süt üretimini teşvik edici etkileri literatürde belirtilmektedir. Bu yağlar, dikkatli ve uygun yöntemlerle kullanıldığında, laktasyon sürecini olumlu yönde destekleyebilir.

Psikolojik İyileşme ve Duygusal Denge: Postpartum depresyon, doğum sonrası dönemde karşılaşılan önemli bir ruhsal sağlık sorunudur. Lavanta yağı, anksiyolitik ve antidepresan etkileri ile doğum sonrası depresyon semptomlarının hafifletilmesinde etkili olabilmektedir. Ayrıca, gül (Rosa damascena) ve ylang-ylang (Cananga odorata) uçucu yağları da duygusal dengenin yeniden sağlanmasına yardımcı olur. Bu yağların aromaterapi difüzörleri aracılığıyla inhalasyon yoluyla kullanımı, annenin ruhsal iyiliğini artırabilir (16,17).

Tablo 2. Gebelik, Doğum ve Doğum Sonrası Dönemlerde Uçucu Yağ Kullanımı: Yöntemler ve Etkiler (12,13,14,15,16,17,18,19)

Dönem	Uçucu Yağ	Kullanım Şekli	Etkileri
Gebelik	Lavanta (Lavandula angustifolia)	Masaj, difüzyon	Anksiyete azaltıcı, uyku kalitesini artırıcı, rahatlatıcı
Gebelik	Papatya (Matricaria recutita)	Banyo, masaj	Sinir yatıştırıcı, kas gevşetici
Doğum	Lavanta (Lavandula angustifolia)	İnfüzyon, inhalasyon	Ağrı algısını azaltma, doğum süresini kısaltma
Doğum	Gül (Rosa damascena)	Masaj yağı olarak	Anksiyeteyi azaltma, gevşeme sağlama
Doğum	Sardunya (Pelargonium graveolens)	İnfüzyon, masaj	Oksitosin salımını destekleme, ruh hali düzenleme
Doğum Sonrası	Lavanta	Masaj, banyo	Lohusalık depresyonunun hafifletilmesi
Doğum Sonrası	Çay ağacı (Melaleuca alternifolia)	Topikal uygulama	Antibakteriyel, epizyotomi iyileşmesini destekleyici
Doğum Sonrası	Nane (Mentha piperita)	Inhalasyon, masaj	Enerji verici, baş ağrısı giderici

Doğum Sürecinde Aromaterapinin Kullanımı ve Etkililiği

Yapılan geniş kapsamlı gözlemsel çalışmalarda, lavanta, sardunya, nane ve gül gibi uçucu yağların doğum sırasında kullanımının anksiyete düzeylerini ve algılanan ağrıyı anlamlı şekilde azalttığı rapor edilmiştir. Özellikle lavanta yağının gevşeme üzerinde belirgin bir etki sağladığı bildirilmiştir (12). Çalışmaya katılan kadınların büyük bir çoğunluğu, aromaterapi uygulamalarından memnun kaldıklarını ifade etmiştir.

Bir diğer araştırmada ise doğumun birinci evresinde inhalasyon yöntemiyle uygulanan Rosa damascena (gül) yağının, gebelerde anksiyete düzeylerini anlamlı biçimde düşürdüğü gösterilmiştir (15). Benzer şekilde, sardunya yağı ile gerçekleştirilen aromaterapi müdahalelerinin, stres hormonlarının baskılanmasına ve oksitosin salınımının desteklenmesine katkı sağladığı, bu doğrultuda doğum sürecini kolaylaştırdığı gözlemlenmiştir (16).

Aromaterapinin doğum esnasındaki en önemli avantajlarından biri, farmakolojik yöntemlerle karşılaştırıldığında daha az yan etkiye sahip olmasıdır. Ancak bu yöntem, tüm bireylerde aynı düzeyde etki göstermeyebilir ve ağrıyı tamamen ortadan kaldırma amacıyla değil, destekleyici bir yaklaşım olarak değerlendirilmelidir (14).

Güvenlik açısından değerlendirildiğinde, bazı uçucu yağların uterus kasılmalarını stimüle edici özellik taşıdığı bilinmektedir. Bu nedenle, gebeliğin erken dönemlerinde adaçayı, kekik ve biberiye gibi yağların kullanımı erken doğum riskine neden olabileceği için önerilmemektedir (16). Ayrıca, uçucu yağların seyreltilmeden doğrudan cilde uygulanması durumunda tahriş ya da alerjik reaksiyon riski oluşabileceğinden, aromaterapi uygulamalarının mutlaka seyreltilmiş formlarda ve uzman kontrolünde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Sonuç olarak, aromaterapi, doğum sürecinde fiziksel ve psikolojik rahatlamayı destekleyen, tamamlayıcı bir girişim olarak değerlendirilebilir. Ancak bireysel farklılıklar ve olası advers etkiler göz önünde bulundurularak, profesyonel rehberlik eşliğinde uygulanması büyük önem arz etmektedir.

Doğum Sürecinde Aromaterapinin Rolü: Faydalar, Sınırlılıklar ve Uygulayıcıların Önemi

Aromaterapi, doğum sürecinde fiziksel ve psikolojik rahatlama sağlamak amacıyla kullanılan tamamlayıcı bir yöntemdir. Uçucu yağların sinir sistemi üzerinde sakinleştirici ve gevşetici etkiler gösterdiği, bu sayede doğum sırasında kadınların kaygı düzeylerinde azalma ve ağrı algısında hafifleme sağladığı bildirilmiştir (12,15). Özellikle lavanta, gül, sardunya ve papatya yağları, anksiyete azaltıcı özellikleri ile öne çıkmaktadır. Araştırmalar, aromaterapinin doğum eylemini

daha konforlu hale getirdiğini ve farmakolojik ağrı kesicilere olan ihtiyacı azaltabileceğini göstermektedir (19).

Ancak aromaterapinin etkileri bireysel farklılıklar gösterebilir. Bazı uçucu yağlar, örneğin adaçayı ve kekik, uterotonik etki yapabileceğinden gebeliğin erken dönemlerinde dikkatli kullanılmalıdır (18). Uçucu yağların seyreltilmeden cilde uygulanması, alerjik reaksiyonlar ve cilt tahrişlerine yol açabilir. Bu nedenle, aromaterapi uygulamaları uzman kişiler tarafından yapılmalıdır.

Aromaterapi uygulanan doğum deneyimlerine dair yapılan çalışmalar, katılımcıların büyük bir kısmının bu yöntemi olumlu değerlendirdiğini ortaya koymaktadır. Aromaterapi, kadınların doğum sırasında daha huzurlu ve güvende hissetmelerine yardımcı olmakta ve travmatik doğum deneyimlerinin azaltılmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. Ancak bazı kadınlar, aromaterapinin yetersiz etkili olduğunu belirtmiştir, bu da bireysel farklıkların önemini vurgulamaktadır.

Aromaterapi, doğum ortamının atmosferini olumlu yönde etkileyerek fiziksel ve psikolojik rahatlama sağlar. Uçucu yağların yaydığı kokular, klinik ortamın soğuk havasını yumuşatarak daha sıcak ve huzurlu bir alan yaratılmasına yardımcı olur. Bu ortam değişikliği, doğum yapan kadının gevşemesini kolaylaştırarak doğum sürecinin fizyolojik ilerleyişine katkı sağlayabilir (20). Aromaterapi uygulamalarının planlanmasında ebe ve hemşirelerin rolü büyük önem taşır. Uygulayıcılar, doğru yağın seçilmesi, dozajın belirlenmesi ve uygun uygulama yöntemleri konusunda bilgi sahibi olmalıdır. Ayrıca, kadının ihtiyaçlarını değerlendirme ve tercihlerine saygı gösterme etik sorumluluğu da bulunur (21).

Aromaterapi, doğum sürecinde hem fiziksel konforu artırmak hem de psikolojik rahatlama sağlamak amacıyla etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Ancak, bu yöntemin güvenli ve etkili olabilmesi için profesyonel rehberlik gerekmektedir. Ebelerin aromaterapinin güvenli uygulanmasındaki rolü kritik olup, bireysel farklılıklar ve potansiyel sınırlılıklar göz önünde bulundurulmalıdır.

SONUÇ

Aromaterapi, doğum sürecinde kadınların fiziksel ve duygusal rahatlamasını destekleyen etkili bir tamamlayıcı bakım yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır. Uçucu yağların uygun şekilde kullanılmasıyla doğum ağrısında azalma, anksiyete düzeylerinde düşüş ve genel doğum deneyiminde iyileşme sağlanabildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, aromaterapi doğum ortamının daha

huzurlu ve destekleyici hale gelmesine katkı sunmakta; bu da doğumun fizyolojik olarak daha doğal seyretmesine olanak tanımaktadır. Ancak bu uygulamanın güvenli ve etkili olması, bireysel farklılıkların gözetilmesine ve uzman kişiler tarafından yürütülmesine bağlıdır.

ÖNERİLER

- ✓ Aromaterapi eğitimi, ebelik ve hemşirelik eğitim programlarına entegre edilerek sağlık profesyonellerinin bu alanda yeterlilik kazanmaları sağlanmalıdır.
- ✓ Doğumda aromaterapi uygulamalarının kanıta dayalı rehberlerle desteklenmesi, uygulayıcıların doğru kararlar almasına yardımcı olabilir.
- ✓ Uçucu yağların seçimi, dozu ve uygulama yöntemi konusunda standart protokoller geliştirilmelidir.
- ✓ Kadınların aromaterapiye yönelik tercih ve deneyimleri dikkate alınmalı; bireysel bakım planlarına bu doğrultuda yön verilmelidir.
- ✓ Aromaterapiyle ilgili daha fazla randomize kontrollü çalışma yapılarak yöntemin etkililiği ve güvenliği daha güçlü bilimsel kanıtlarla desteklenmelidir.
- ✓ Uygulamanın güvenliğini sağlamak amacıyla, uçucu yağların kullanımı konusunda alerji, cilt hassasiyeti ve hamilelik haftası gibi faktörler dikkate alınmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Kanat T. Aromaterapi. J Biotechnol Strateg Health Res. 2019;3:67–73.
2. Miller N, Asali AA, Agassi-Zaitler M, Neumark E, Eisenberg MM, Hadi E, et al. Physiological and psychological stress responses to labor and delivery as expressed by salivary cortisol: a prospective study. Am J Obstet Gynecol. 2019;221(4):351.e1–351.e7.
3. Olza I, Leahy-Warren P, Benyamini Y, Kazmierczak M, Karlsdottir SI, Spyridou A, et al. Women's psychological experiences of physiological childbirth: a meta-synthesis. BMJ Open. 2018;8(10):e020347.

4. Smith CA, Collins CT, Cyna AM, Crowther CA. Complementary and alternative therapies for pain management in labour. Cochrane Database Syst Rev. 2006;(4):CD003521.
5. Özdemir H, Öztunç G. Hemşirelik Uygulamalarında Aromaterapi. Turkiye Klin J Nurs Sci. 2013;5(2).
6. Ben Miri Y. Essential oils: chemical composition and diverse biological activities—a comprehensive review. Nat Prod Commun. 2025;20(1):1934578X241311790.
7. Ríos JL, Recio MC. Medicinal plants and essential oils: Bioactivity and safety issues. J Ethnopharmacol. 2005;100(1–2):61–64.
8. Lawrence BM. Aromatherapy: A guide for healthcare professionals. Edinburgh: Elsevier Health Sciences; 2009.
9. Van der Watt E, van Heerden FR. Antibacterial activity of essential oils from South African medicinal plants. J Ethnopharmacol. 2010;131(1):191–196.
10. Moeini B, Pourshirazi F, Faraji S. Effectiveness of aromatherapy with lavender on labor pain: A randomized controlled trial. J Obstet Gynaecol Res. 2014;40(1):55–60.
11. Nicol M, Suen LK, Chui KY. Aromatherapy in the management of labor pain: A systematic review. J Clin Nurs. 2010;19(7–8):1023–1032.
12. Burns E, Blamey C, Ersser SJ, Barnetson L, Lloyd AJ. The use of aromatherapy in intrapartum midwifery practice: An observational study. Complement Ther Nurs Midwifery. 2000;6(1):33–34.
13. Haji Maghsoudi S, Ghazanfarpour M, Khadivzadeh T, et al. Chamomile and its effects on the anxiety during labor: A review. Iran J Obstet Gynecol Infertil. 2016;19(26):1–8.
14. Cooke B, Ernst E. Aromatherapy: A systematic review. Br J Gen Pract. 2000;50(455):493–496.
15. Kheirkhah M, Setayesh Valipour N, Neisani Samani L, Haghani H. The effect of rose (Rosa damascena) essential oil on anxiety in the first stage of labor: A randomized clinical trial. Iran Red Crescent Med J. 2014;16(11):e14455.
16. Namazi M, Khosravi A, Yaghobinia F, et al. Aromatherapy with geranium oil and anxiety: A clinical trial. J Caring Sci. 2014;3(3):181–189.

17. Conrad P, Adams C. The effects of clinical aromatherapy for anxiety and depression in the high risk postpartum woman: A pilot study. Complement Ther Clin Pract. 2012;18(3):164–168.
18. Tisserand R, Young R. Essential oil safety: A guide for health care professionals. 2nd ed. Edinburgh: Churchill Livingstone; 2014.
19. Lakhan SE, Sheafer H, Tepper D. The effectiveness of aromatherapy in reducing pain: A systematic review and meta-analysis. Pain Res Treat. 2016;2016:8158693.

REMOVAL of COPPER from AQUEOUS SOLUTION by Mg BASED ALLOY

Nilüfer DANACI
Dr., Kahramanmaraş Sutçu Imam University, Department of Materials Science and Engineering
nilufer46danaci@hotmail.com, 05304164941
ORCID ID: 0000-0001-8788-6120

Musa GÖĞEBAKAN
Prof. Dr., Kahramanmaraş Sutçu Imam University, Department of Physics, Faculty of Sciences
gogebakan@ksu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-5104-2874

Hakan YAYKAŞLI
Assistant Prof., Kahramanmaraş Istiklal University, Department of Property Protection and Safety, Elbistan Vocational School of Higher Education, Department of Materials Science and Engineering, Institute of Graduate Studies
hakanyaykasli@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-5729-9662

ABSTRACT

The environmental effects of heavy metal pollution are considered a widespread problem worldwide. It is important to remove these pollutants from wastewater for a cleaner environment. So, various conventional and advanced treatment methods, including chemical precipitation, ion exchange, adsorption, membrane separation, electrochemical precipitation, photocatalysis, and reduction, are applied to remove heavy metals from aqueous streams. Some of these treatment methods have disadvantages, such as high cost, long treatment time, and inability to remove contaminants at low levels. Adsorption is one of the treatment methods most attentional in heavy metal removal from wastewater because it has advantages such as low cost, short treatment time, high efficiency, and eco-friendliness. Thus, activated carbon, natural adsorbents, bio-based adsorbents, clay minerals, zero-valance iron, layered double hydroxides, graphene materials, carbon nanotubes, metal-organic frameworks (MOFs), and, recently, metal-based alloys have been applied to treat heavy metal-contaminated waters. Nanomaterial alloys can be considered an essential candidate for heavy metal pollution removal. Mg-based alloys are among the most researched alloys. The alloys used for the study were produced as powders using the mechanical alloying method. The copper ion (Cu^{2+}) is a hazardous heavy metal often released by industries.

This review illuminates functional nanomaterial applications for removing Cu^{2+} from simulated wastewater. In this study, Cu^{2+} removal efficiency from wastewater with very high concentration of copper ion (787.3 ppm) was achieved as 51% by using $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ powder alloy. Consequently, valuable results have been obtained for future researches in the current study.

Keywords: Mg-based alloys, heavy metal, wastewater, copper, mechanical alloying

1. INTRODUCTION

The mechanical and physical properties vary depending on the microstructure of alloys. Since the microstructure of pure metals is single-phase, their properties are same, but alloys have a multi-phase structure as a result of combining more than one element, so the microstructure of the alloy changes. Recently, Mg-based alloys are among the most researched alloys. Mg-based alloys have a wide range of applications in industries such as automotive, aerospace, and electronics due to their unique behavior containing low density, specific stiffness, ease of processing, high strength-to-weight ratio [1]. In addition to these, the studies are also being carried out for the use of Mg-based alloys in wastewater treatment [2]. Nanostructured alloys can be synthesized by conventional or rapid solidification, the bulk methods of crystal growth, physical vapor deposition, solid-state reactions, inert gas condensation, mechanical alloying (MA), etc. [3]. Recently, the MA has been received many attentions as a powerful tool for the production of advanced materials such as nanocrystalline and nanocomposite materials, refractory materials, metal nitrides, and metal borides [4,5].

Water is the most important natural resource necessary for the sustainability of living organisms on Earth. However, safe access to water is becoming increasingly difficult due to the continuous discharge of industrial and domestic wastewater into the receiving environment. The consumption of water contaminated with heavy metals can lead to several acute and chronic diseases. Hence, heavy metals can be considered as an important part of aqueous inorganic contaminants [6]. Lead, copper, cadmium, nickel, arsenic, zinc, and mercury are hazardous heavy metals. These metals lead to resulting in damage to blood composition, lungs, kidneys, liver, and other vital organs above the set limit values [7,8,9]. The Cu^{2+} is a hazardous heavy metal that is often released by the industries [7,10]. Cu^{2+} is an essential trace element, but when it accumulates in the living organisms, it can cause some serious disorders [11]. Based on the regulations, copper ion concentration limit values in industrial effluents change according to different industrial fields [7]. In this regard, preventing the copper ion pollution in wastewater or drinking-water is imperative for environmental protection. So various conventional and advanced treatment methods involved chemical precipitation, ion exchange, adsorption, membrane separation, electrochemical precipitation, photo-catalysis and reduction are applied for the removal of heavy metals from aqueous streams [12]. The some of these treatment methods have disadvantages such as high cost, long treatment time and inability to remove contaminants at low levels [6]. Adsorption is the one of the most

attention treatment methods in heavy metal removal from wastewater because it has advantages such as low cost, short treatment time, high efficiency and eco-friendliness. Thus, activated carbon, natural adsorbents, bio-based adsorbents, clay minerals, zero-valance iron, layered double hydroxides, graphene materials, carbon nanotubes, metal organic frameworks (MOFs), and recently metal-based alloys have been applied for the treatment of heavy metals contaminated waters [6,7,13,14]. Adsorption is phenomenon the accumulation of atoms or molecules transferred from a gas or liquid (adsorbate) to the surface of a solid (adsorbent) [15]. There are two different types of adsorption; physical adsorption and chemical adsorption. Physical adsorption occurs when the adsorbent and the adsorbate bind to each other through van der Waals forces. On the other hand, chemical adsorption is based on the formation of ionic or covalent bonds through reactions. The removal of heavy metals by adsorption involves three stages. The first is the production of adsorbent materials. Secondly, the mixture of wastewater containing heavy metals and adsorbent. And finally, the accumulation of heavy metals on the surface or within pores of the adsorbent. The charged heavy metal pollutants adhere to the opposite charged adsorbent due to the effect of electrostatic attraction force [15,16].

In present study, the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ powder alloys were synthesized by MA method. We studied the heavy metal adsorption by using the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ powder alloy. Our study focuses on Cu^{2+} as representative model pollutant to understand how the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy performs. Therefore, we hope that the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy will provide an important insight to the copper removal efficiency from wastewater.

2. METHOD and MATERİALS

2.1 Synthesis of the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ Alloys

In this study, planetary ball mills (Fritsch Pulverisette 5) were used to synthesis Mg-Al-Y alloy with nominal compositions of the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ (atomic percent, %). The high purity Mg (99.9%), Al (99.5%), and Y (99.8%) elemental powders were weighed at room temperature in specific quantities in glove box with atmosphere. The ball-to-powder ratio was 10:1. The total weight of milling balls (stainless steel) is about 200 g. Stainless steel vial volume was determined as 125 ml. Two different diameter sizes of milling balls with 3 mm and 8 mm were used while other milling parameters were kept constant. Powders and balls were charged into the vial. Stearic acid (1%) was added to prevent agglomeration and sticking to the vial surface of the powders. The device was applied continuously as 20 min milling and 20 min pause to prevent over-heating. The rotation

speed of the device was 300 rpm. The powders were milled during 100 h and the powders were used for Cu^{2+} removal by taking a small amount from the vial after 100 h milling time.

2.2 Experiment of the Copper Removal

The simulated wastewater was prepared by dissolving of $CuCl_2.2H_2O$ (Merck) as 0.2 g and KNO_3 (Merck) as 0.2 g in distilled water (100 ml). Then, 0.05 g of the alloy was added to each wastewater sample. Samples were stirred for 60 min by means of the mechanical stirrer at a fixed speed of 300 rpm, rested for 10 min, and filtered with a 0.45 µm filter membrane. The concentrations of copper ions in the initial and the final were determined by using the ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry). The all experiments were conducted at room temperature (about 25 °C). The copper removal efficiency was calculated by using the following equation.

$$\eta = \left[\left(C_0 - C_t / C_0 \right) \right] x100 \quad (1)$$

where η is the copper removal efficiency. C_0 and C_t are the initial and the final concentration at time of copper ion value, respectively.

3. RESULTS and DISCUSSION

Fig. 1 shows the removal of copper ions from simulated wastewater. According to Fig. 1, a good removal of copper ion prepared at a very high concentration was achieved using by $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ powder alloy. Based on Fig. 2, an removal efficiency of 51% has been achieved. Ref 7 stated that they achieved 99.8% removal from a copper solution at a concentration of 500 ppm using by Fe-based amorphous alloy. Ref 17 stated that aluminum alloys have been used to remove copper, nitrate, and trichloromethane from aqueous solution. According to their studies, they have achieved a good copper removal. At the same time, they have proved that the nitrate in the solution affects copper removal. In the reaction mechanism in the present study, the electrons lost from the alloy are reduced to Cu^0 by taking Cu^{2+}.

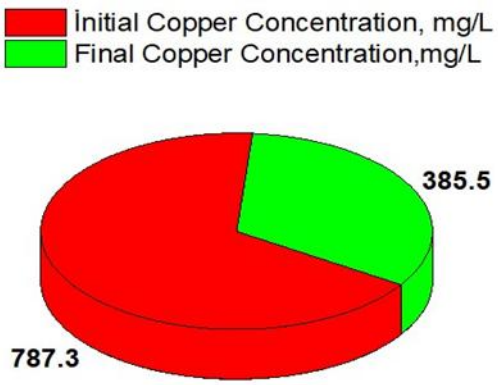


Figure 1. Copper ion removal from the simulated wastewater

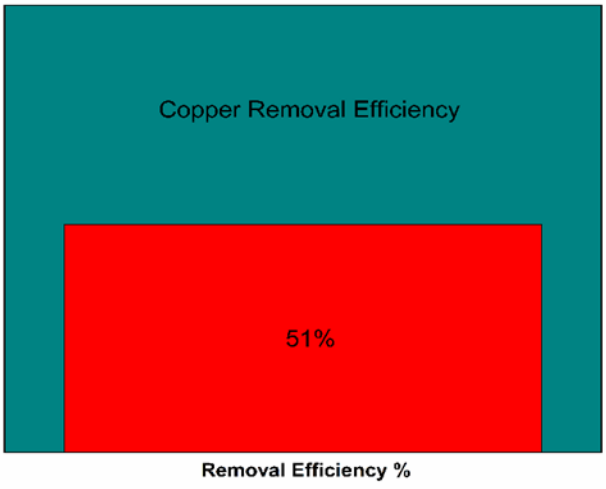


Figure 2. Copper ion removal efficiency from the simulated wastewater

4. CONCLUSIONS

The $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy for removing Cu^{2+} from contaminated water proved the 51% removal efficiency. The crucial point of this study is that a very high copper concentration has been removed. The reaction mechanism is caused by the reduction of copper through electron transfer. The current study shows that Mg-based alloys can be used efficiently for copper removal from wastewater.

Funding

This work was supported by the Kahramanmaras Sutcu Imam University, (KSU) Scientific Research Projects Coordination Department, under Project No: 2023/6-13 D.

Data availability

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author (Nilüfer DANACI) upon reasonable request.

REFERENCES

1. A.Fattah-alhosseini and R.Chaharmahali, Impressive strides in amelioration of corrosion behavior of Mg-based alloys through the PEO process combined with surface laser process: A review. Journal of Magnesium and Alloys **11**, 4390-4406 (2023)
2. Y.Chen, F.Chen, L.Li, C.Su, B.Song, H.Zhang, S.Guo, F.Pan, Progress and prospects of Mg-based amorphous alloys in azo dye wastewater treatment: Review. Journal of Magnesium and Alloys **12**, 873-889 (2024)
3. C.Kursun and M.Gogebakan, Characterization of nanostructured Mg-Cu-Ni powders prepared by mechanical alloying. Journal of Alloys and Compounds **619**, 138-144 (2015)
4. C.Suryanarayana, Mechanical alloying and milling. Progress in Materials Science **46**, 1-184 (2001)
5. H.Raanaei, H.Eskandari, V.Mohammad-Hosseini, Structural and magnetic properties of nanocrystalline Fe-Co-Ni alloy processed by mechanical alloying. Journal of Magnetism and Magnetic Materials **398**, 190-195 (2016)
6. U.M.Ismail, M.S.Vohra, S.A.Onaizi, Adsorptive removal of heavy metals from aqueous solutions: Progress of adsorbents development and their effectiveness. Review article. Environmental Research **251**, (2024)
7. Y.Yan, X.Liang, J.Ma, J.Shen, Rapid removal of copper from wastewater by Fe-based amorphous alloy. Intermetallics **124**, (2020)
8. E.Baath, Effects of heavy metals in soil on microbial processes and populations (A review). Water Air Soil Pollutant **47**, 335-379 (1989)
9. G.Tyler, A.M.B.Pahlsson, G.Bengtsson, E.Baath, L.Tranvik, Heavy-metal ecology of terrestrial plants, microorganisms and invertebrates. Water Air Soil Pollutant **47**, 189-215 (1989)
10. F.Ge, M.M.Li, H.Ye, B-X.Zhao, Effective removal of heavy metal ions Cd^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, Cu^{2+} from aqueous solution by polymer-modified magnetic nanoparticles. Journal of Hazardous Materials **211-212**, 366-372 (2012)
11. A.W.Geddie and S.G.Hall, An introduction to copper and zinc pollution in macroalgae: for use in remediation and nutritional applications. Journal of Applied Phycology **31**, 691-708 (2019)

12. M.Bilal, I.Ihsanullah, M.Younas, M.U.H.Shah, Recent advances in applications of low-cost adsorbents for the removal of heavy metals from water: A critical review. Separation and Purification Technology **278**, (2022)
13. W.Liang, G.Wang, C.Peng, J.Tan, J.Wan, P.Sun, Q.Li, X.Ji, Q.Zhang, Y.Wu, W.Zhang, Recent advances of carbon-based nano zero valent iron for heavy metals remediation in soil and water: A critical review. Journal of Hazardous Materials **426**, (2022)
14. Z.Liu, Q.Wang, X.Huang, X.Quian, Surface functionalization of graphene oxide with hyperbranched polyamide-amine and microcrystalline cellulose for efficient adsorption of heavy metal ions. ACS Omega **7**, 10854-11520 (2022)
15. H.Hu and K.Xu, Chapter 8-Physicochemical technologies for HRPs and risk control. High-Risk Pollutants in Wastewater, 169-207 (2020)
16. W.A.Al-Amrani and S.A.Onaizi, Adsorptive removal of heavy metals from wastewater using emerging nanostructured materials: A state-of-the-art review. Separation and Purification Technology **343**, (2024)
17. J.Zhang, Y.Song, J.Chao, H.Huang, D.Liu, F.Coulon, X.J.Yang, Rapid and effective removal of copper, nitrate and trichloromethane from aqueous media by aluminium alloys. Heliyon **10**, (2024)

DEGRADATION of RHODAMINE B and METHYLENE BLUE by LIGHT ALLOY

Nilüfer DANACI
Dr., Kahramanmaraş Sutçu Imam University, Department of Materials Science and Engineering
nilufer46danaci@hotmail.com, 05304164941
ORCID ID: 0000-0001-8788-6120

Musa GÖĞEBAKAN
Prof. Dr., Kahramanmaraş Sutçu Imam University, Department of Physics, Faculty of Sciences
gogebakan@ksu.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-5104-2874

Hakan YAYKAŞLI
Assistant Prof., Kahramanmaraş Istiklal University, Department of Property Protection and Safety, Elbistan Vocational School of Higher Education,Department of Materials Science and Engineering, Institute of Graduate Studies
hakanyaykasli@gmail.com
ORCID ID: 0000-0001-5729-9662

ABSTRACT

Textile industry dyes are widely used in modern industries. Their use causes a fundamental problem of severe water pollution. A considerable amount of colored effluent from these industries is discharged into the natural environment. Their existence presents a severe threat to both human and aquatic life. Currently, studies are being carried out on treating dyed wastewater using physical, chemical, and biological methods. Mg-Al powders have recently been shown to be highly efficient in dye degradation. In this study, the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ powder alloy was prepared by the mechanical alloying (MA) method and the present study presents the decomposition of a solution consisting of a mixture of Rhodamine B and Methylene Blue dyes by using $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy powders. The mechanical alloying method is a method that has many advantages in preparing alloys. Powder alloys provide more active sites and specific surface area than ribbon alloys, improving catalytic performance. According to the results, the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy can degrade the Rhodamine B and the Methylene Blue solution within 60 min with a degradation efficiency of 84% and 69%, respectively. The average removal efficiency is 76.5%. The Rhodamine B and the Methylene Blue removal efficiencies were determined according to the maximum absorbances at 553 and 665 nm, respectively. The study also provides an approach to the decolorization mechanism. The reductive

and oxidative complex dye degradation mechanism can effectively improve the degradation rate. Thus, these findings may offer a new idea for degrading dyed wastewater.

Keywords: Textile, Wastewater, Powder Alloy, Degradation, Dye

1 INTRODUCTION

Water pollution is a major concern for the sustainability of the World in recent years. In particular, the discharge of organic pollutants, including dyes, seriously contaminates the water system [1]. The Rhodamine B is a dye widely used in the textile industry and is highly resistant to biodegradation. Thus, catalytic reduction is known as one of the most promising methods for removing these pollutants from wastewater [2,3]. The Methylene Blue is a cationic dye that is widely discharged into wastewater, which is carciogenic and mutogenic. A large quantity of wastewater containing the Methylene Blue is released into both underground and surface waters [4].

In 21st century, nanotechnology has become one of the most important fields. Particle size of nanomaterial metals is 1-100 nm compared to bulk materials. Bimetallic and nanometallic nanoparticles are widely used in catalysis due to their attractiveness [5]. However, dye catalysis studies by using multi-metallic nanomaterials or alloys have been increasing recently. This may be due to fact that multi-compound alloys may affect the dye degradation rate due to the change in phase structures. The mechanical alloying method is an effective and simple method for producing nanocrystalline alloys. Nanocrystalline and amorphous alloys provide effective results in dye removal, and many metallic-based alloys are used for this purpose. Among these alloys, Mg-based alloys have been studied more recently [6-13].

In this study, the decomposition of the rhodamine b and the methylene blue dyes was studied using by the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ powder alloy. The aim is to provide enough information to scientists and environmental engineers for application in water treatment plants. Also, the reaction mechanisms were discussed.

2 METHOD and MATERİALS

In this study, Mg-Al-Y powder alloys with the nominal composition (as atomic percent of the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy) was mechanically alloyed in planetary ball mills (Fritsch Pulverisette 5). The high purity Mg (99.9%), Al (99.5%), and Y (99.8%) elemental powders were weighed in specific quantities according to the desired composition under the argon atmosphere in room temperature. Powders and stainless stell milling balls (3mm and 8mm in diameter) were charged into a stainless-steel vial (125 ml). The ball to powder ratio (BPR) was maintained as 15:1. 1% of stearic acid was

added to prevent agglomeration of the powders. The mechanical alloying was performed at the rotation speed of 300 rpm. The process was interrupted for 20 min after each 20 min of ball milling. The powders were milled during 100 h and were taken for dye degradation analysis after 100 h milling time.

Solution consisting of a mixture of the rhodamine b and the methylene blue was prepared with distilled water was used for degradation experiments. 0.01 g the rhodamine b and 0.01 g the methylene blue was added to 100 mL of distilled water. Then, 0.05 g of alloy was added to each sample and kept in a dark environment for 15 minutes. Finally, a certain amount of boron hydride ($NaBH_4$, reducing reagent, 0.05 g) was added to the sample solution. Samples were stirred for 60 min by means of the mechanical stirrer at a fixed speed of 500rpm, and filtered. The dye degradation efficiencies of the alloy were analyzed with UV-vis spectroscopy (Shimadzu-1800). Initially, a control sample (dye-distilled water) was scanned in the 400–750 nm range with 1nm intervals. The maximum absorbance peaks for the rhodamine b and the methylene blue appeared at 553 nm and 665 nm wavelengths, respectively. Since the dye concentration is directly proportional to the absorbance peak the concentration calculation was made according to the absorbance at reaction time and converted into removal efficiency. The following equation was used [14].

$$\eta = \left[(C_0 - C) / C_0\right] \times 100 \quad (1)$$

Where η is the decolorization efficiency (%), C_0 is the initial dye concentration, and C is the dye concentration at the specific reaction time.

3 RESULTS and DISCUSSION

As shown in Fig.1, the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy with 100h milling time effectively degraded the rhodamine b and the methylene blue. The reducing agent alone ($NaBH_4$) can't remove the rhodamine b and the methylene blue (Fig.2). Fig.3 shows the dye removal efficiencies. According to Fig. 3, an average of 76.5% efficiency was achieved. In our previous study, the $Mg_{65}Cu_{20}Y_{13}La_2$ alloy was used to degrade the methyl orange. After 20 minutes, a high efficiency of over 90% was achieved. The $Mg_{65}Cu_{20}Y_{13}La_2$ alloy could be used for 4 cycles [13]. The removal of congo red

azo dye was studied using by MnBi alloy powders. According to their study, a high efficiency was achieved [15]. Fig.4 shows the color change of the degrading dye solutions.

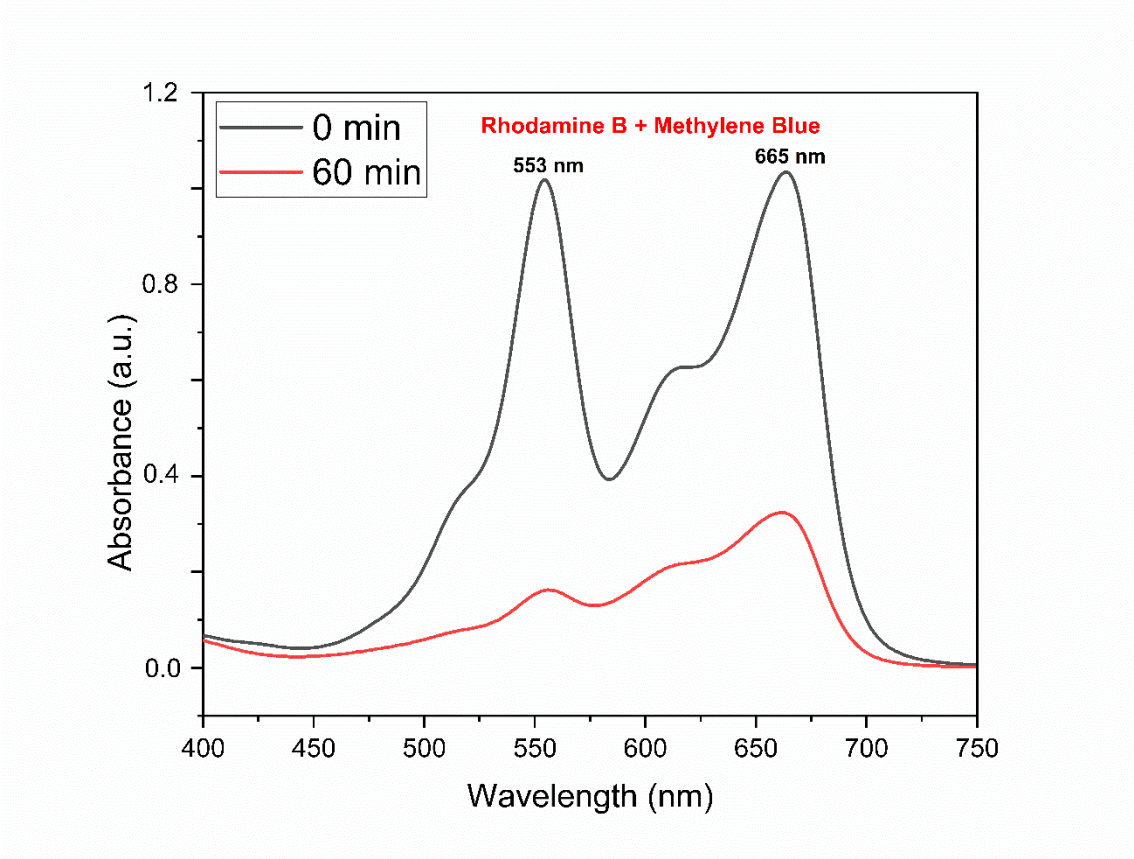


Fig. 1 UV-vis absorbance spectra of the rhodamine b and the methylene blue degradation by using the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy

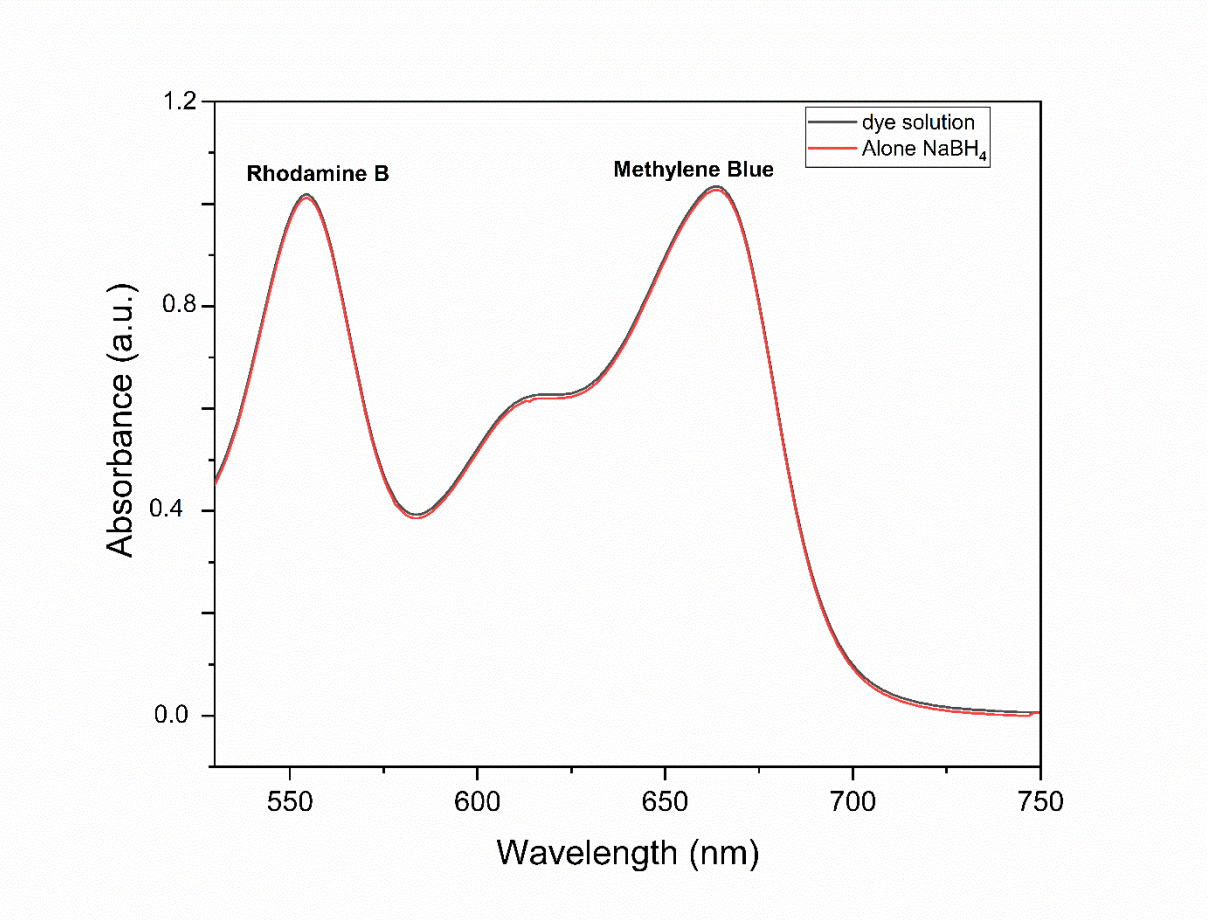


Fig. 2 UV-vis absorbance spectra curve without catalyst

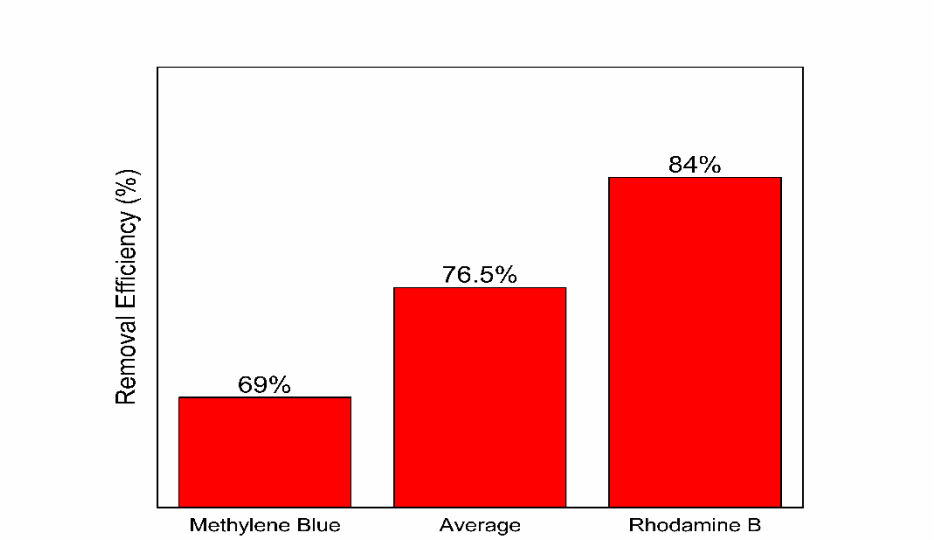


Fig. 3 Dye removal efficiencies by using the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy

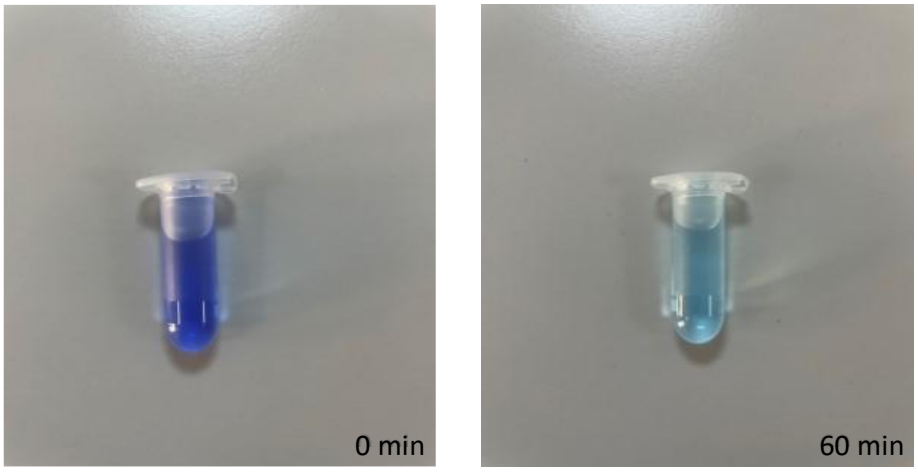


Fig. 4 The photos of the degraded solutions

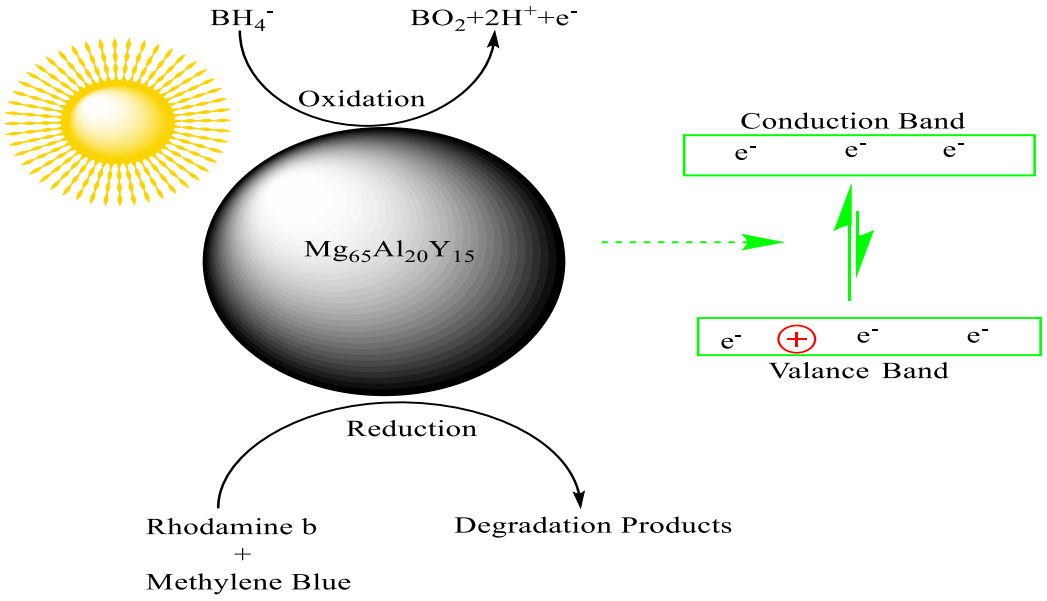


Fig. 5 the possible mechanism of photocatalytic degradation of the rhodamine b and

the methylene blue by using the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy

The possible mechanism of degradation of the rhodamine b and the methylene blue by using $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy is shown in Fig.5. Daylight increases the degradation of the dyes in the catalysis system by using $NaBH_4$ as a co- factor. Here, the number of electrons emitted by the metal depends on the intensity of the incident light. First, $NaBH_4$ and the dyes are absorbed on the catalysis surface. Then, electron transfer from $NaBH_4$, which acts as an electron donor to the dye, occurs on the catalysis surface. Thus, electron transport causes the degradation of dyes.

4 CONCLUSIONS

In summary, the $Mg_{65}Al_{20}Y_{15}$ alloy powders were capable of degrading different types of dyes, especially the rhodamine b dye. It can be considered that Mg-Al-Y powders exhibit a higher degradation reaction due to an increase in their specific surface area and reactivity after alloying. The mechanism of the degradation reaction of the dye by means of catalysis offers a different perspective on the subject.

Funding

This work was supported by the Kahramanmaras Sutcu Imam University, (KSU) Scientific Research Projects Coordination Department, under Project No: 2023/6-13 D.

Data availability

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author (Nilüfer DANACI) upon reasonable request.

REFERENCES

1. S.Rasalingam, C.M.Wu, and R.T.Koodali, Modulation of pore sizes of titanium dioxide photocatalysts by a facile template free hydrothermal synthesis method: Implications for photocatalytic degradation of rhodamine B, ACS Appl. Mat. Inter. 7 (2015) 4368-4380.
2. C.Lops, A.Ancona, K.Di Cesare, B.Dumontel, N.Garino, G.Canavese, S.Hernandez, and V.Cauda, Sonophotocatalytic degradation mechanisms of rhodamine B dye via radicals

generation by micro-and nano-particles of ZnO, Appl. Catal. B Environ. 243 (2019) 629-640.

3. Q.Yan, X.Y.Wang, J.J.Feng, L.P.Mei, and A.J.Wang, Simple fabrication of bimetallic platinum-rhodium alloyed nano-mutipods: A higly effective and recyclable catalyst for reduction of 4-nitrophenol and rhodamine B, Journal of Colloid and Interface Science 582 (2021) 701-710.
4. A.Hasnaoui, M.Chikhi, F.Balaska, W.Seraghni, M.Boussemghoune, and N.Dizge, Electrocoagulation employing recycled aluminum electrodes for methylene blue remediation, Desalination and Water Treatment 319 (2024).
5. S.Sabahat, Y.Nazish, A.Akhtar, and A.Shahid, Nanoengineering of mono (Au,Ag) and bimetallic (Ag-Au) alloy nanoparticles for dye degradation and toxicity assessment, Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy 321 (2024).
6. S.Chen, N.Chen, M.Cheng, S.Luo, Y.Shao, K.Yao, Multi-phase nanocrystallization induced fast degradation of methyl orange by annealing Fe-based amorphous ribbons. Intermetallics 90, 30–35 (2017)
7. A.Lassoued, J.F.Li, Influence of iron content in Fe-based amorphous alloy catalysts on degradation of azo dyes by fenton-like process. J. Phys. Chem. Solids 180, (2023)
8. C.Zhang, Z.Zhu, H.Zhang, Mg-based amorphous alloys for decolorization of azo dye. Results Phys. 7, 2054-2056 (2017)
9. J.Q.Wang, Y.H.Liu, M.W.Chen, D.V.Louzguine-Luzgin, A.Inoue, J.H.Perepezko, Excellent capability in degrading azo dyes by MgZn-based metallic glass powders. Sci. Rep., (2012)
10. K.W.Jung, B.H.Choi, C.M.Dao, Y.J.Lee, J.W.Choi, K.H.Ahn, S.H.Lee, Aluminum carboxylate-based metal-organic frameworks for effective adsorption of anionic azo dyes from aqueous media. J. Ind. Eng. Chem. 59, 149-159 (2018)
11. X.D.Qin, Z.W.Zhu, G.Liu, H.M.Fu, H.W.Zhang, A.M.Wang, H.Li, H.F.Zhang, Ultrafast degradation of azo dyes catalyzed by cobalt-based metallic glass. Sci. Rep. 5, (2016)
12. M.Tang, L.Lai, D.Ding, T.Liu, W.Kang, N.Guo, B.Song, S.Guo, Rapid degradation of Direct Blue dye by Co-based amorphous alloy wire. J. Non. Cryst. Solids. 576, (2022)

13. N.Danacı, M.Göğebakan, H.Yaykaşlı, C.Kurşun, and S.Uruş, Synthesis, characterization, and azo dye degradation performance of mechanically alloyed $Mg_{65}Cu_{20}Y_{13}La_2$ nanocrystalline powders. J. Mater. Sci: Mater. Electron 35 (2024)
14. S.Chen, N.Chen, M.Cheng, S.Luo, Y.Shao, K.Yao, Multi-phase nanocrystallization induced fast degradation of methyl orange by annealing Fe-based amorphous ribbons. Intermetallics 90, 30–35 (2017)
15. X.Wang, B.Deng, L.Yu, E.Cui, Z.Xiang, W.Lu, Degradation of azo dyes Congo red by MnBi alloy powders: Performance, kinetics and mechanisms. Materials Chemistry and Physics 251, (2020)

EFFECT OF MO AND CR ADDITIONS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL BEHAVIOR OF HIGH-MN STEELS UNDER INDUSTRIAL HEAT TREATMENT CONDITIONS

Selim TOPCU[1,2], Faruk ÖZTÜRK[1,2], İsmail KANKAL[1,2], Mehmet UYSAL[2], Uğur GÜROL[3,4]

[1]Silvan Sanayi A.Ş., Dilovası, Kocaeli, Türkiye
[2]Sakarya University, Department of Engineering, Metallurgical and Materials Engineering, Esentepe, Sakarya, Türkiye
[3]İstanbul Gedik University, Department of Engineering, Metallurgical and Materials Engineering, Kartal, İstanbul, Türkiye
4 İstanbul Vesuvius Refrakter A.Ş., FOSECO Foundry Division, Kocaeli, Türkiye

ABSTRACT

This study investigates the effects of molybdenum (1 wt.%) and chromium (2 wt.%) alloying, along with solution annealing heat treatment, on the microstructure and mechanical performance of high-manganese austenitic steels. Three compositions—base 12–14Mn, 12–14Mn+1Mo, and 12–14Mn+2Cr—were cast under identical conditions and subjected to homogenization and solution treatment at 1080 °C for 5 hours followed by water quenching. Microstructural analysis revealed that the as-cast alloys exhibited coarse dendritic morphologies and continuous interdendritic carbide networks. Post-treatment, all samples achieved a fully austenitic matrix with significant grain refinement. Mechanical testing demonstrated remarkable improvements: tensile strength increased by up to 78%, and elongation values exceeded 60% across all heat-treated alloys. Charpy impact energy rose from 5–8 J in the as-cast state to 166–218 J after annealing, with the base alloy showing the highest toughness. While heat treatment reduced hardness in all samples, the Cr-containing alloy retained the highest post-treatment hardness (240 HBW), balancing wear resistance and ductility. Mo addition enhanced strength but led to a modest decrease in impact energy. The results highlight the effectiveness of combining targeted alloying with thermal processing to tailor the mechanical behavior of high-Mn steels. The unalloyed composition is ideal for impact-prone applications, whereas Cr-modified steels are suitable for wear-dominant environments. This work contributes to the alloy design of high-performance structural components in mining, rail, and heavy equipment industries.

Keywords: High-manganese steel, alloying, solution annealing, mechanical properties, microstructure, impact toughness

1. Introduction

Yüksek manganlı çeliklerin genel kullanımda %11-14 Mn ve %1,1-1,4 C içeriğine sahip olup, yüksek sertlik, yüksek tokluk ve makul süneklik ile yüksek gerinim, yüksek aşınma direnci gibi mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Bu çeliklerin kullanım alanlarının seçiminde en belirleyici özellikleri; sertlik, tokluk ve aşınma kabiliyetleridir. Darbeli yükler altında plastik şekil değiştirme yeteneği kazanan malzemelerin yüzeylerinde belirgin bir sertlik artışı gözlemlenir. Bu durum, malzemelerin darbeli yükler altında yüksek tokluk değerlerine ulaşmasını sağlar ve soğuk şekil değiştirme etkisiyle aşınmaya karşı dirençli, sert bir yüzey tabakası oluşturarak etkili bir şekilde çalışmasına olanak tanır. [1-2].

Bu çeliklerin en önemli dezavantajı, düşük akma dayanımına sahip olmalarıdır. Düşük akma mukavemeti, parçaların daha çalışma sertleşmesi gerçekleşmeden deforme olması ve dolayısıyla kullanılamaz hale gelmesine ya da kırılmasına yol açabilmektedir. Dolayısıyla, bu parçalarla ilgili en büyük sorun, endüstirde kullanım sırasında darbeli yüklerin şiddetine bağlı olarak meydana gelen kırılmalardır. Bu tür sorunların çözülmesi amacıyla yüksek manganlı çeliklerin üretiminde ve ısıl işlem süreçlerinde optimizasyon çalışmalarının yapılması, ayrıca aşınma direnci, darbe çentik mukavemetleri ve çekme özelliklerinin geliştirilmesi önem arz etmektedir. [3].

Ayrıca üretimi ve kullanımı ekonomik açıdan da avantajlıdır. Ancak, araştırmacılar bu çeliklerin özelliklerini geliştirmek için birçok çalışmalar yapmışlardır. Yüksek manganlı çeliklerin iyileştirilmesi için araştırmacılar karbon veya mangan oranlarını farklı yüzdelerde kullanarak ve krom, molibden, titanyum gibi elementlerin anlamlandırılması ile bu çeliklere katkı sağlamışlardır. Bu çeliklerde karbon ve mangan oranları yüzdesel olarak değiştirildiğinde mekanik özellik olarak büyük değişimler olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, hammadde veya üretim aşamalarında meydana gelen bir farklılığın, mikro yapıyı, faz dönüşümlerinde, mekanik özellikleri, aşındırıcı dayanımı, korozyon davranışını ve genel olarak malzemenin metalürjik özelliklerinde de değişimin kaçınılmaz olduğunu görebiliriz. Yüksek manganlı ostenit çeliğinin sanayideki önemini ve bu çeliğin farklı sektörlerdeki stratejik rolünü dikkate alarak, bu makale döküm ve ısıl işlem sonrası mikro yapı ve mekanik özellikler olarak sonuçları gözlemlenecektir. [4].

2. Experimental studies

Three high-manganese austenitic steel compositions were prepared using conventional induction melting in an industrial-scale furnace (3.5-ton capacity). The charge materials included certified low-residual steel scrap and controlled additions of standard-grade ferroalloys (FeMn, FeSi, FeMo, FeCr), introduced to tailor the alloy chemistry. Melting was conducted at 1480 °C under ambient conditions. Following melt homogenization (15 min), the chemical composition of each alloy was verified via optical emission spectroscopy (ARL OES) in accordance with ASTM E2209.

Rectangular test blocks ($40 \times 50 \times 300$ mm³) were cast into chromite-based sand molds. Pouring was performed at 1440–1450 °C. The castings were allowed to cool in the mold until the internal temperature reached 260–310 °C, after which they were removed, and gating systems were detached while still hot to mitigate residual thermal stresses and suppress

microstructural gradients. The nominal compositions of the cast alloys are presented in Table 1.

Table 1. Chemical composition of samples (wt.%)

Alaşım	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	Fe
12-14Mn	1.06	13.03	0.49	0.24	0.02	0.033	0.002	85.12
12-14Mn+1Mo	1.04	13.30	0.52	0.17	0.95	0.031	0.002	83.98
12-14Mn+2Cr	1.05	13.19	0.53	2.02	0.04	0.028	0.001	83.14

All specimens underwent a two-stage heat treatment. Initially, samples were heated to 650 °C for 3 h in a fully automated, oxygen-regulated chamber furnace (Sistem Teknik), aiming to eliminate retained pearlitic phases and facilitate uniform austenite formation. Subsequently, the temperature was increased to 1080 °C at 1.67 °C/min. Solution annealing was carried out for 5 h, followed by immediate quenching in a 90-ton circulating water tank at 25 °C. This treatment ensured full austenitization and suppression of residual carbides. A schematic representation of the thermal treatment profile is provided in Figure 1.

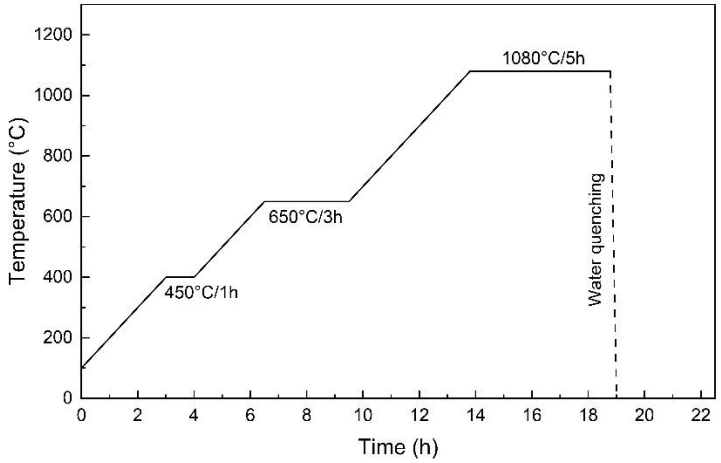


Figure 1. Heat treatment cycle performed for all samples

Metallographic characterization was conducted following ASTM E3 and E407 standards. Samples were sectioned from the central region of each cast block, mounted, ground, and polished to a mirror finish using standard metallographic techniques. Final etching was performed with a 4 wt.% Nital solution for 10 seconds to reveal microstructural features.
The optical microstructure of both as-cast and heat-treated specimens was examined using an Olympus PME optical microscope.

Mechanical properties were evaluated through hardness, tensile, and impact testing. Brinell hardness was measured on all specimens using a universal hardness tester under a load of 29.4 kN (3000 kgf) applied for 10 seconds, following ASTM E10. At least five indentations were taken per specimen and averaged to ensure statistical reliability. Tensile tests were performed on machined sub-size specimens with a gauge length of 50 mm and a cross-section

of 10×10 mm², following ASTM E8/E8M standard. Testing was conducted at room temperature using an Instron 300LX universal testing machine at a crosshead speed of 2 mm/min. For each alloy variant, three specimens were tested and the average values for yield strength (Rp0.2), ultimate tensile strength (Rm), and elongation to failure (ε%) were recorded. Charpy impact testing was carried out at room temperature on V-notched specimens (10×10×55 mm³) in accordance with ASTM E23 using a 300 J capacity pendulum impact tester. At least three specimens per condition were tested, and the average absorbed energy was reported. All mechanical test results were correlated with the corresponding microstructural features, including grain size, carbide distribution, and segregation characteristics, to elucidate the structure–property relationships.

3. Results and discussion

The optical micrographs in Figure 2 illustrate the as-cast microstructures of high manganese austenitic steels with varying alloying elements. Images (a–b) correspond to the base alloy (12–14Mn), (c–d) to the Mo-added alloy (12–14Mn+1Mo), and (e–f) to the Cr-added alloy (12–14Mn+2Cr). These microstructures reveal notable differences in phase distribution, grain size, and carbide precipitation behavior depending on the alloying elements introduced.

The base alloy (Figure 2a–b) exhibits a typical dendritic structure characteristic of high manganese steels, where interdendritic regions are occupied by a significant amount of carbide precipitations. These precipitates appear as black elongated and interconnected networks, mostly forming along the grain boundaries and within interdendritic zones. Figure 2b reveals clear outlines of eutectic carbides and segregation bands, which are indicative of elemental partitioning during solidification. The high carbon (1.06%) and manganese (13.03%) content contributes to the formation of these carbide-rich interdendritic zones, which are often associated with embrittlement and decreased toughness in as-cast conditions. Upon the addition of 1 wt.% molybdenum (Figure 2c–d), a substantial refinement of the microstructure is observed. The dendritic structure is still present but appears to be more homogenized, and the carbide networks are considerably less continuous and less pronounced compared to the base alloy. Molybdenum is known to delay carbide formation and can promote the development of more discrete, rounded carbides, which is consistent with the micrographs shown. Moreover, Mo tends to segregate during solidification, forming more isolated carbide particles rather than networks. This can enhance the toughness and wear resistance of the alloy in service conditions. At higher magnification (Figure 2d), the grains are more equiaxed, and the carbides are mostly observed at triple points, confirming the grain boundary precipitation mechanism. In contrast, the addition of 2 wt.% chromium (Figure 2e–f) results in a much finer and more uniform distribution of carbides within austenitic grains. Chromium is a strong carbide former and promotes the nucleation of complex carbides during solidification. The optical images clearly reveal finer dendritic arms and smaller intergranular carbides. Especially in Figure 2f, the carbide precipitation along the grain boundaries appears to be more refined and less continuous than in the base alloy. This morphology suggests an enhanced corrosion resistance and possibly increased wear resistance due to the dispersion of harder phases throughout the matrix. In addition, the higher Cr content may have contributed to a cleaner interdendritic region, with fewer segregation-induced features, indicating improved castability and solidification behavior. In summary,

the addition of Mo and Cr to high-Mn steels significantly influences the as-cast microstructure. While Mo promotes carbide refinement and grain boundary precipitation, Cr enhances uniform carbide dispersion and dendritic refinement. These microstructural modifications are expected to positively impact the mechanical and wear properties of the alloys, making them more suitable for demanding applications in abrasive environments.

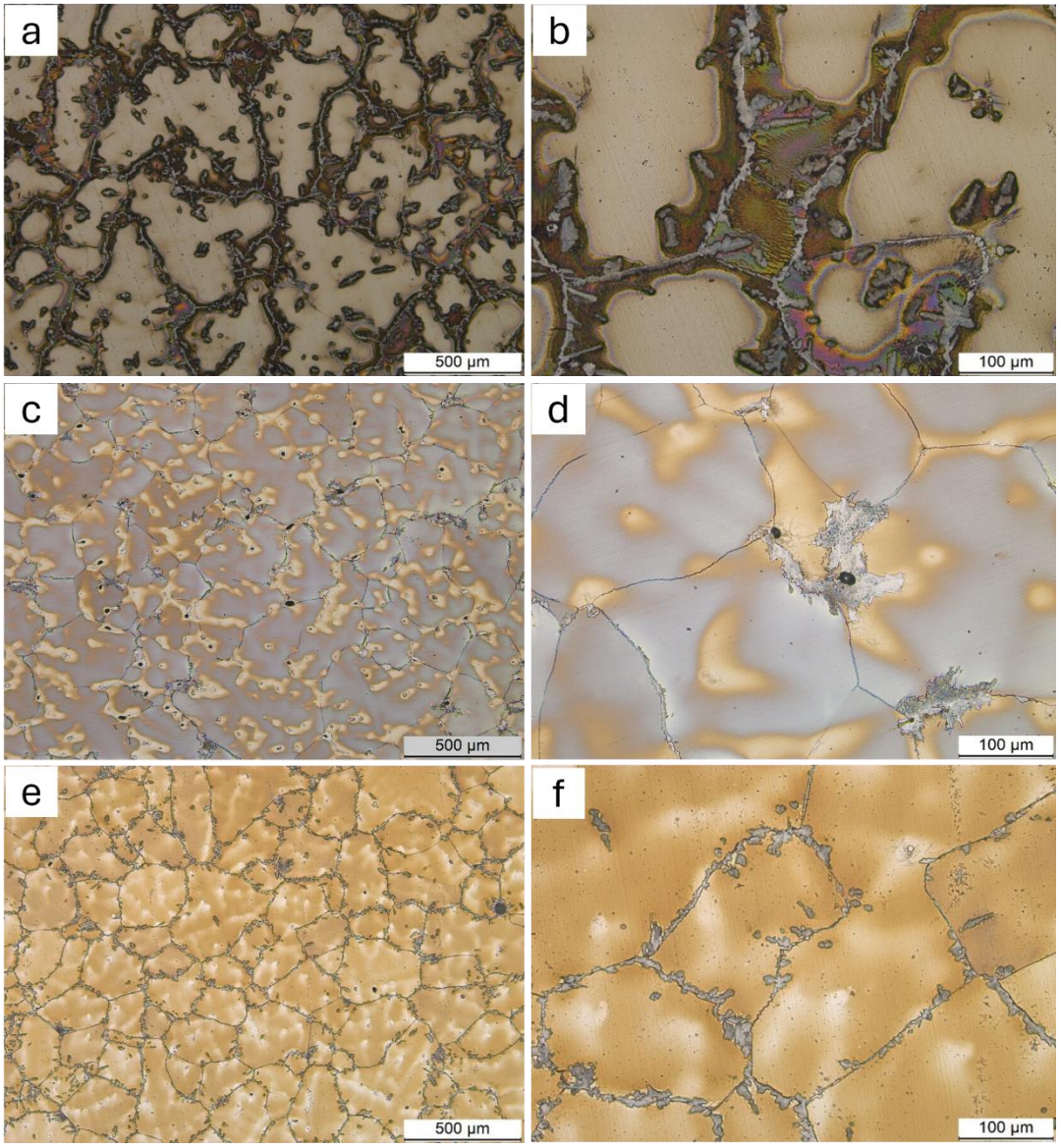


Figure 2. As cast microstructures; a-b) 12-14Mn, c-d) 12-14Mn+Mo, and e-f) 12-14Mn+2Cr

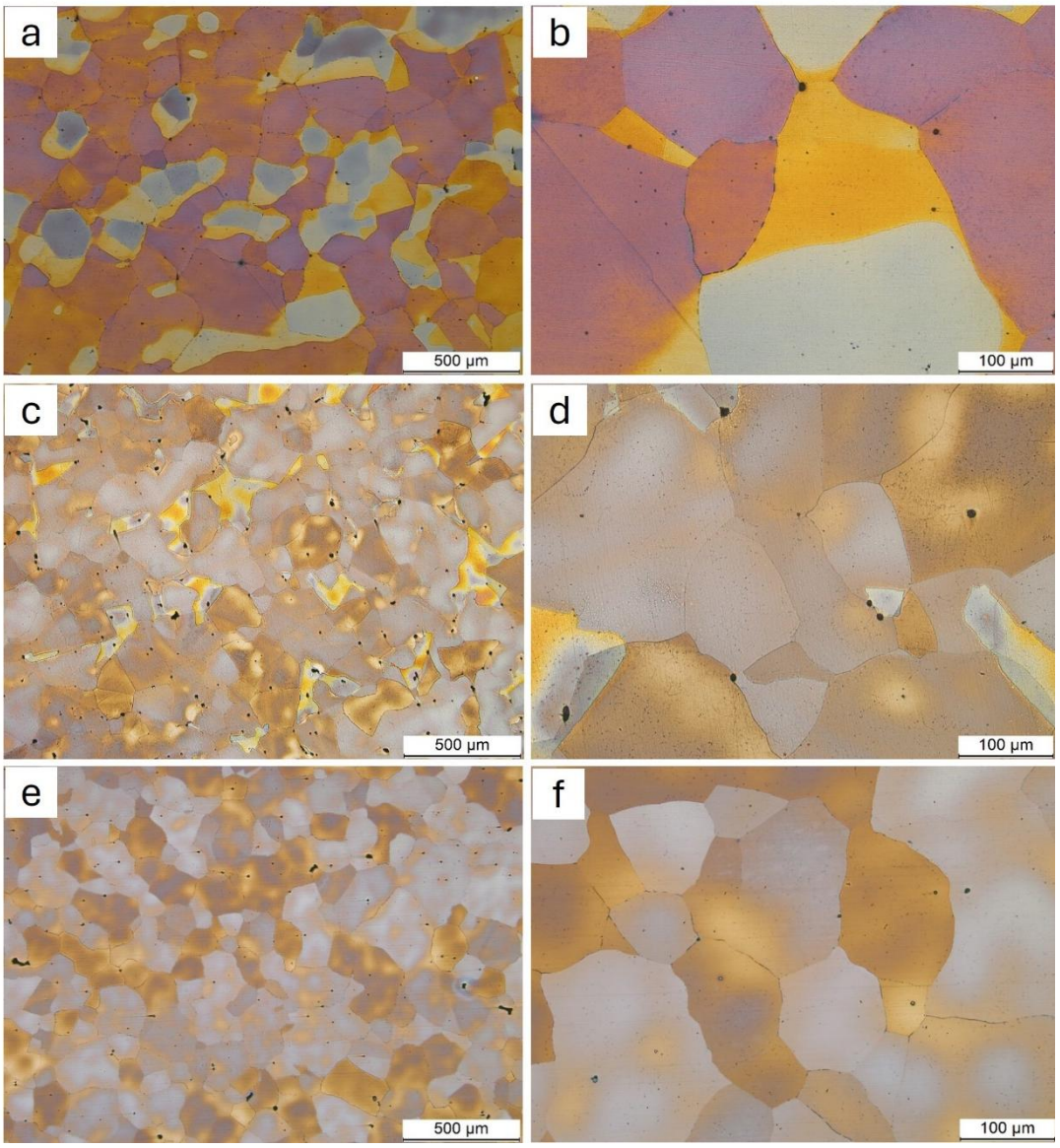


Figure 3. Heat-treated microstructures; a-b) 12-14Mn, c-d) 12-14Mn+Mo, and e-f) 12-14Mn+2Cr

Upon solution annealing at 1080 °C for 5 hours and subsequent water quenching, a significant transformation of the microstructure is observed, as illustrated in Figure 3. All alloy variants reveal a nearly fully austenitic matrix with minimal residual carbide phases. Compared to their as-cast counterparts, the dissolution of interdendritic carbides and segregation bands is evident, indicating the effectiveness of the selected heat treatment cycle. In this context, the 12–14Mn base alloy (Figures 3a–b) presents a homogeneous austenitic structure, with well-developed equiaxed grains and no visible carbide network, confirming complete solid solution behavior. In the Mo-alloyed variant (Figures 3c–d), a more refined grain morphology is observed, likely due to molybdenum's retarding effect on grain boundary motion. The Cr-containing alloy (Figures 3e–f) demonstrates the finest grain structure among all variants, consistent with chromium's well-documented grain refinement

capabilities via the formation of stable Cr-rich precipitates during cooling. These differences in post-treatment microstructures are expected to influence both mechanical strength and toughness.

Figure 4 illustrates the hardness variation of the investigated high manganese steels in both as-cast and heat-treated conditions. In the as-cast condition, the base alloy (12–14Mn) exhibits the highest hardness value at 266 HBW, followed by the Mo-added (246 HBW) and Cr-added (242 HBW) variants. The relatively higher hardness of the base alloy can be attributed to the presence of a significant amount of continuous interdendritic carbides, as shown in Figure 2a–b. These hard phases contribute to increased resistance against plastic deformation but also make the material more brittle. In contrast, the addition of Mo and Cr results in a more refined and evenly distributed carbide morphology, which slightly lowers the hardness while potentially improving toughness and ductility. After heat treatment, a notable decrease in hardness is observed for all alloy types. The base alloy drops to 203 HBW, indicating a substantial softening effect due to the dissolution of carbides into the austenitic matrix during the solution annealing stage. This transformation leads to a reduction in hard, brittle phases and results in a more homogeneous and ductile microstructure. The 12–14Mn+1Mo alloy shows a final hardness of 212 HBW, while the 12–14Mn+2Cr alloy retains the highest post-treatment hardness at 240 HBW.

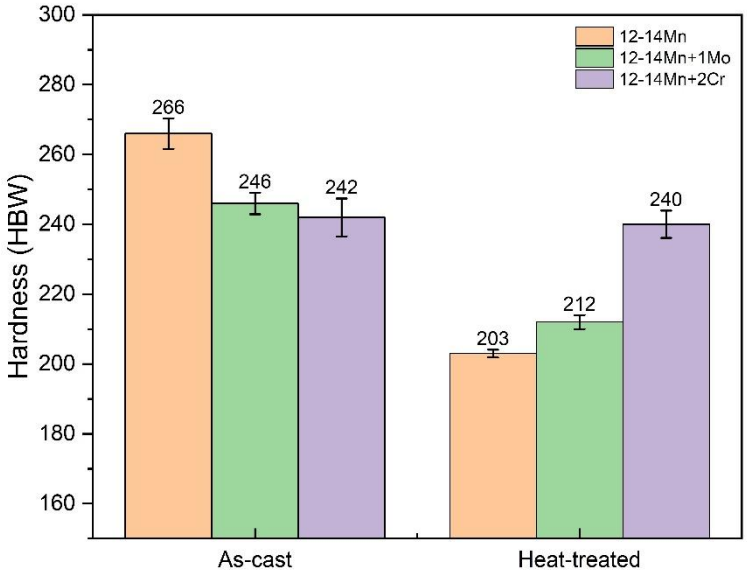


Figure 4. Hardness test results of as-cast and heat treated samples.

The Charpy impact energy values of the three investigated high manganese steels, in both as-cast and heat-treated conditions, are presented in Figure 5. A sharp difference is observed between the two states. In the as-cast condition, all alloy variants show very low impact energy values, ranging between 5–8 J, indicating a high degree of brittleness and poor resistance to crack propagation under dynamic loading. Specifically, the 12–14Mn and 12–

14Mn+2Cr alloys exhibit the lowest impact energy of 5 J, while the Mo-containing alloy (12–14Mn+1Mo) slightly outperforms them with 8 J. These low values are attributed to the presence of a coarse dendritic microstructure and continuous interdendritic carbide networks, as observed in Figure 2, which act as preferential sites for crack initiation and propagation. After the heat treatment, which includes homogenization, solution annealing at 1080°C for 5 hours, and water quenching, a dramatic improvement in impact energy is observed for all alloy types. The base alloy (12–14Mn) exhibits the most significant enhancement, reaching an impact energy of 218 J. This indicates a substantial improvement in toughness due to the dissolution of carbides and homogenization of the microstructure, which reduces the brittle phases and promotes a fully austenitic matrix capable of absorbing more impact energy. The 12–14Mn+2Cr alloy follows with an impact energy of 181 J, suggesting that while Cr improves hardness retention after heat treatment (as discussed in Figure 4), it may slightly restrict full transformation to a ductile microstructure due to the retention of chromium-rich carbides. Nevertheless, the improvement from 5 J to 181 J still indicates a remarkable enhancement in toughness. The 12–14Mn+1Mo alloy records the lowest impact energy after heat treatment (166 J) among the three. While Mo contributes to carbide refinement and matrix strengthening, it may also result in the formation of harder but less tough secondary phases, which limit energy absorption under impact loading. In summary, the heat treatment process significantly enhances the impact toughness of high-Mn steels by eliminating detrimental casting-induced features and promoting a more homogeneous austenitic structure. The base alloy demonstrates the best toughness post-treatment, whereas Cr and Mo additions slightly compromise this improvement, likely due to the partial retention of fine carbides that increase hardness but reduce ductility. These results highlight the classic strength–toughness trade-off associated with microalloying in high-manganese steels.

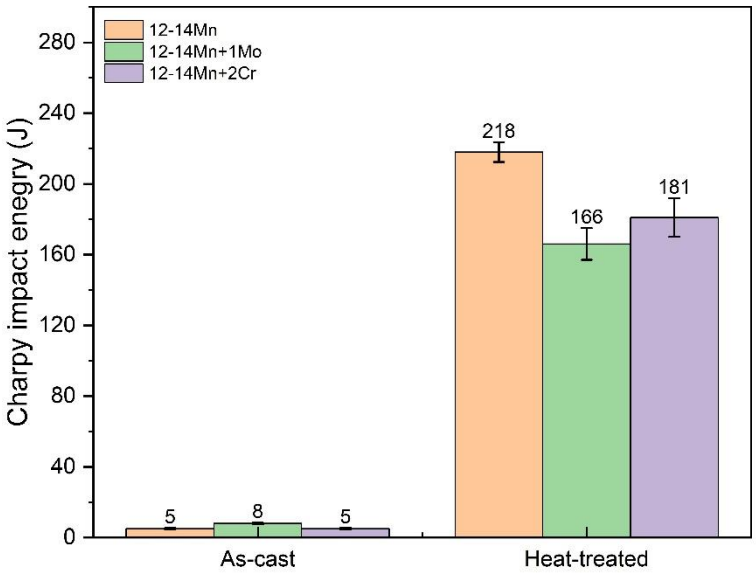


Figure 5. Charpy-impact test results of as-cast and heat treated samples.

The data presented in Table 2 reveals the dramatic improvement in elongation and tensile strength following solution treatment.

Table 2. Tensile test results of the as-cast and heat-treated samples

Samples	Test condition	Yield Strength (Mpa)	Tensile Strength (Mpa)	Elongation (%)
12-14 Mn	As-cast	379 ±11	475 ±0,3	2,13 ±0,2
12-14 Mn+1Mo	As-cast	434 ±19	518 ±0,2	3,05 ±0,2
12-14 Mn+2Cr	As-cast	459 ±22	507 ±0,4	2,77 ±0,2
12-14 Mn	Heat-treated	364 ±1	844 ±15	59,6 ±4
12-14 Mn+1Mo	Heat-treated	399 ±5	890 ±13	62,7 ±3
12-14 Mn+2Cr	Heat-treated	432 ±4	889 ±22	57,4 ±4

While the as-cast specimens exhibited poor elongation due to extensive carbide networks and segregation features, the heat-treated alloys demonstrated elongation values exceeding 55%, with the Mo-alloyed sample reaching a maximum of 62.7%. A noteworthy observation is the substantial increase in ultimate tensile strength across all variants. The 12–14Mn alloy rose from 475 MPa to 844 MPa, whereas both alloyed steels surpassed 885 MPa after treatment. These enhancements are primarily attributed to the dissolution of brittle secondary phases and the stabilization of a ductile austenitic phase during solution annealing. Interestingly, while yield strength slightly decreased after heat treatment in the base alloy (from 379 MPa to 364 MPa), the Cr- and Mo-alloyed variants maintained relatively high yield values (432 MPa and 399 MPa, respectively). This behavior can be associated with solid solution strengthening and precipitation hardening effects retained from Mo and Cr additions.

4. Conclusion

This study systematically investigated the effects of alloying elements (Mo and Cr) and solution annealing heat treatment on the microstructure and mechanical performance of high-manganese austenitic steels. Based on detailed metallographic evaluations and mechanical testing, the following key conclusions can be drawn:

- Solution annealing at 1080 °C for 5 hours successfully eliminated interdendritic carbide networks, yielding a fully austenitic microstructure in all alloy variants. Chromium addition resulted in the finest grain structure post-treatment, while molybdenum promoted equiaxed grains and suppressed continuous carbide formation.
- Ultimate tensile strength (UTS) increased from 475 MPa to 844 MPa (+78%) in the base alloy following heat treatment. Molybdenum and chromium additions further enhanced UTS to ~890 MPa. Elongation improved dramatically from 2.1–3.0% in the as-cast condition to 57–63% post-treatment, indicating a significant restoration of ductility.
- Charpy impact energy values rose from 5–8 J in as-cast samples to 166–218 J after heat treatment. The unalloyed 12–14Mn alloy showed the highest toughness (218 J), while Cr and Mo additions resulted in modest reductions (181 J and 166 J, respectively), likely due to retained fine carbides along grain boundaries.

- Heat treatment led to a 23–30% reduction in Brinell hardness for all variants. However, the Cr-containing alloy retained the highest post-treatment hardness (240 HBW), suggesting improved wear potential without severely compromising ductility.

In summary, alloying with Cr and Mo, combined with optimized solution treatment, enables tunable performance in high-Mn steels. These findings provide a framework for alloy design in sectors requiring tailored combinations of strength, ductility, and impact resistance.

REFERANCES

[1] Öztürk, F. (2023). Hadfıeld çeliklerine uygulanan farklı çökelme sertleşmesi sıcaklıklarının mikro yapı ve mekanik özelliklere olan etkisinin incelenmesi= Effect of different precipication hardening temperature on microstructural and mechanical properties of hadfield steels (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
[2] Bhero, S. W. Nyembe, B. Lentsoana, K. (2014). Common Failures of Hadfield Stell in Application. International Conferance on Mining, Mineral Processing and Metallurgical Engineering (ICMMME'2014).
[3] *Metallurgical Engineering (ICMMME'2014)*, 17-19. Kayadelen, A. (2018). *Yüksek manganlı ostenitik çeliklerin aşınman davranışlarına vanadyum ve molibden element ilavesinin etkisinin incelenmesi* [Yüksek lisans tezi]. Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi.
[4] Masoud Sabzi and Mansour Farzam Published 6 September 2019 • © 2019 IOP Publishing Ltd

SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMESİ OLARAK AHŞABIN KULLANIMI VE MODERN YAPI TEKNOLOJİLERİNDE YERİ

Hande BÜYÜKDERELİ

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi /Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı,

handecankaya.hc@hotmail.com - 0009-0008-8848-683X

Ferhat ÖZDEMİR

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi /Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü,

ferhatoz@hotmail.com – 0000-0002-2282-1884

ÖZET

Ahşap, sürdürülebilirliği, estetik görünümü ve çevre dostu yapısıyla yapı malzemeleri arasında yeniden ön plana çıkan bir malzemedir. Bu çalışma, ahşabın günümüzdeki inşaat sektöründeki yeri, avantajları ve modern yapı sistemleri ile entegrasyonunu değerlendirmektedir. Beton, çelik gibi malzemelere alternatif olabilecek nitelikte olan ahşabın performansı, dayanımı ve uygulama alanları incelenmiştir. Ayrıca Türkiye'de kamu yapılarında ahşabın kullanım potansiyeli değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ahşap, yapı malzemeleri, sürdürülebilirlik, hibrit yapılar, çevre dostu inşaat

1. GİRİŞ

Yapı sektöründe tercih edilen malzemeler, yalnızca yapıların taşıyıcılık kapasitesi ve dayanımı açısından değil, aynı zamanda uzun vadeli çevresel etkileri bakımından da stratejik öneme sahiptir. Küresel ölçekte artan çevresel duyarlılık ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda, yapı sektöründe karbon salımını azaltan ve enerji verimliliğini artıran malzeme (Özcan & Karahan, 2020).

Alternatiflerine yönelim gözlemlenmektedir. Bu bağlamda, uzun yıllardır geleneksel bir yapı malzemesi olarak kullanılan ahşap, modern mühendislik çözümleri ile yeniden değerlendirilmeye başlanmış ve sürdürülebilir yapı uygulamalarında ön plana çıkmıştır.

Ahşap, doğal bir malzeme olarak üretiminde düşük enerji tüketimi gerektirmesi, karbonu bünyesinde depolama kapasitesi, geri dönüştürüle bilirliği ve yaşam döngüsü boyunca çevresel

etkilerinin görece düşük olması nedeniyle çevresel performansı yüksek bir yapı malzemesidir (Yıldız&Özçelik, 2011; Güler& Yıldız, 2014).

Geleneksel kullanım biçimlerinden farklı olarak günümüzde geliştirilen yapısal mühendislik ürünleri – örneğin Glulam (Yapıştırılmış Lamine Ahşap), CLT (Çapraz Lamine Ahşap) ve LVL (Lamine Veneer Lumber) – sayesinde ahşap, çok katlı yapılarda ve yüksek mühendislik performansı gerektiren projelerde dahi etkin şekilde kullanılabilmektedir (Demir&Başaran, 2019). Nitekim son yıllarda özellikle Avrupa, Kuzey Amerika ve Japonya'da çok katlı ahşap yapılar hem estetik hem de sürdürülebilirlik açısından örnek projeler olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte Türkiye'de ahşabın taşıyıcı sistemlerde kullanımı hâlen sınırlı düzeydedir. Bu durumun başlıca nedenleri arasında; yangına dayanım, yapısal güvenlik ve yönetmeliklere uyum konularında yaşanan belirsizlikler ile teknik altyapı eksiklikleri yer almaktadır. Özellikle kamu projelerinde, yürürlükteki yapı mevzuatının ve ihale süreçlerinin ahşap gibi alternatif malzemelere yeterince olanak tanımaması, bu malzemenin yaygınlaşmasını engellemektedir. Bu çalışmada, sürdürülebilir yapı malzemesi olarak ahşabın modern yapı teknolojilerindeki yeri ele alınmakta; beton ve çelik gibi yaygın yapı malzemeleriyle teknik ve çevresel açıdan karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmaktadır. Bu kapsamda, karbon ayak izi, gömülü enerji miktarı, yaşam döngüsü analizi (LCA) ve geri dönüşüm potansiyeli açısından ahşabın avantajları ortaya konulmaktadır. Ayrıca Türkiye'deki mevcut yapı yönetmelikleri çerçevesinde, ahşabın özellikle kamuya ait yapılarda taşıyıcı malzeme olarak kullanılabilirliği irdelenmekte ve mevzuatsal iyileştirme önerileri sunulmaktadır. Bu bağlamda çalışma, ahşabın sürdürülebilirlik perspektifinden yapı sektöründe nasıl daha etkin kullanılabileceğine yönelik bütüncül bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır.

2. MALZEME PERFORMANSI VE KARŞILAŞTIRMA

2.1. Ahşabın Özellikleri

Ahşap, doğada yenilenebilir bir kaynak olan ağaçlardan elde edilen, organik kökenli, doğal bir yapı malzemesidir. Yüzyıllardır inşaat, mobilya, dekorasyon ve sanat alanlarında yaygın olarak kullanılan ahşap; estetik görünümü işlenebilirliği, mekanik dayanımı ve çevresel sürdürülebilirliği ile günümüzde de değerini korumaktadır. Ahşabın temel özellikleri fiziksel, mekanik, kimyasal ve biyolojik olmak üzere dört ana başlık altında incelenebilir.

Fiziksel Özellikler

Ahşap, yoğunluk, nem oranı, ısı iletkenliği ve renk gibi fiziksel özelliklere sahiptir. Yoğunluk, ahşabın dayanımını doğrudan etkileyen bir parametredir ve genellikle 300–900 kg/m³ arasında değişir (Bozkurt&Erdin, 2000). Ahşap higroskopik bir malzeme olduğundan çevresel nem koşullarına bağlı olarak nem alıp verebilir. Bu özelliği, boyutsal değişimlere neden olur ve mühendislik uygulamalarında dikkate alınması gereken önemli bir faktördür. Ahşap düşük ısı iletkenliğine sahiptir (yaklaşık 0,1–0,2 W/m·K) (Güler & Yıldız, 2014) bu da onu iyi bir yalıtım

malzemesi haline getirir. Renk ve doku ise ağaç türüne bağlı olarak farklılık gösterir ve estetik değer açısından önemlidir.

Mekanik Özellikler

Ahşabın mekanik özellikleri, çekme, basınç, eğilme ve kesme dayanımlarıyla ifade edilir. Bu özellikler, liflerin yönüne göre büyük farklılıklar gösterir; örneğin, lif yönüne paralel basınç dayanımı yüksekken, dik yönde oldukça düşüktür. Ahşap ayrıca esnek bir malzemedir; belirli bir gerilim altında elastik deformasyon gösterebilir. Bu özellik, deprem gibi dinamik yüklerin etkisinde yapıya enerji absorbe etme yeteneği kazandırır. Ahşap türüne, nem oranına ve lif yönüne göre değişen bu mekanik özellikler, mühendislik hesaplamalarında dikkate alınmalıdır (Yıldız&Özçelik, 2011). Ahşabın bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Ahşabın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (URL-1)

Ağaç Cinsi	Fiziksel Özellikler			Mekanik Özellikler N/mm²								
	Birim ağırlık Δ gr/cm³	Deformasyon α %	Isı iletkenlik katsayısı λ W/m.K	$\sigma_{çekme}$ $\sigma_{//}$	$\sigma_{\perp}$	$\sigma_{basınç}$ $\sigma_{//}$	$\sigma_{\perp}$	Makaslama τ	Eğilme σ	Elastiklik modülü E	Brinell sertlik H	
Çam	0.50	12.3	0.13	104	2.1	37.9	4.6	3.6	64.8	10200	23	7
Ladin	0.43	11.5	–	–	–	31.1	4	–	69	8300	37	14
Köknar	0.43	12.2	–	62	1.5	37.4	4.5	4.6	73	8300	19	14
Kayın	0.86	15.5	0.20	66	2.3	36.5	12	5.4	87	12500	56	25
Meşe	0.89	12.2	0.20	90	4	61	11	11	98	11700	64	41
Kavak	0.45	12.8	–	–	1.7	40	2.7	6.8	52	7000	23	10
Gürgen	0.83	16.2	–	135	24.5	66	12	7.4	130	16200	71	36
Dişbudak	0.85	13.2	0.20	165	7	52	11	12	120	13400	65	–
Ihlamur	0.53	14.9	–	85	–	52	–	4.5	106	7400	–	16
Kestane	0.58	13.3	–	135	–	47	–	8	89.6	9000	38	18
Karaağaç	0.64	13.2	–	90	4	56	10	7	89	11000	44	30

Kimyasal Özellikler

Ahşabın temel bileşenleri selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Selüloz, ahşabın lifli yapısını oluşturarak mukavemet kazandırırken; hemiselüloz bağlayıcı bir rol üstlenir. Lignin ise ahşaba sertlik ve direnç kazandıran doğal bir polimerdir (Büyüksarı,2010; Güler&Yıldız, 2014). Bu organik bileşenler, ahşabın biyolojik bozulmalara karşı direncini etkiler ve kimyasal işlemlerle modifiye edilebilir. Ayrıca ahşap, kimyasal olarak emprenye edilerek çürümeye, böcek ve mantar saldırılarına karşı korunabilir hale getirilir.

Biyolojik Özellikler ve Dayanıklılık

Ahşap, doğal bir malzeme olması nedeniyle biyolojik zararlılara karşı savunmasızdır. Mantarlar, böcekler ve mikroorganizmalar ahşabın ömrünü kısaltabilir. Ancak bazı ağaç türleri, içerdikleri doğal özüt maddeleri sayesinde bu tür tehditlere karşı daha (örneğin, tik veya sedir) dayanıklıdır

Ayrıca günümüzde uygulanan emprenye teknikleriyle ahşabın ömrü ve dayanımı önemli ölçüde artırılabilmektedir. (Büyüksarı, 2010; Yıldız&Arısoy, 2018).

Sonuç olarak ahşap, doğallığı, çevre dostu yapısı, yüksek dayanım/ağırlık oranı ve estetik değeri ile yapı sektöründe önemli bir yere sahiptir (Yıldız&Özçelik, 2011). Fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra kimyasal ve biyolojik niteliklerinin de iyi anlaşılması, onu yapı tasarımı ve uygulamalarında verimli ve güvenli bir şekilde kullanmak açısından büyük önem taşır. Bu yönleriyle ahşap, modern mühendislikte hem geleneksel hem de çağdaş çözümler sunan vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmaya devam etmektedir.

2.2. Beton ve Çelik ile Karşılaştırma

Yapı mühendisliğinde malzeme seçimi, yapının taşıyıcı sisteminin performansını, ekonomikliğini, çevresel etkilerini ve estetik değerini doğrudan etkileyen temel bir karardır (Balcıoğlu&Özdemir, 2020). Bu bağlamda, üç temel yapı malzemesi olan ahşap, beton ve çelik; fiziksel, mekanik, çevresel ve ekonomik özellikleri bakımından karşılaştırıldığında farklı avantaj ve dezavantajlar ortaya koyar. Beton yüksek basınç dayanımı sunarken, çelik çekme kuvvetlerine karşı mükemmel bir direnç gösterir. Ancak her iki malzeme de üretim süreçlerinde yüksek enerji gereksinimi doğurur ve karbon salınımı yüksektir (Karahan &Özcan, 2020). Ahşap ise karbon tutucu özelliğiyle çevresel etkileri azaltır. Şekil 1’ de bazı yapı malzemeleri görülmektedir.



Şekil 1. Farklı Yapı Malzemeleri (URL-2)

2.2.1.Malzeme Özellikleri Açısından Karşılaştırma

Yoğunluk ve Ağırlık:

Ahşap, düşük yoğunluklu bir malzeme olup genellikle 400–700 kg/m³ arasında değişen birim hacim ağırlığı ile hafif yapı sistemlerinin tercih edilen malzemesidir. Betonun yoğunluğu yaklaşık 2.400 kg/m³, çeliğin ise 7.850 kg/m³'tür. Bu durum, çeliği ve betonu ağır yük taşıyan sistemlerde avantajlı kılarken; ahşabı, hafifliği sayesinde daha az temel yükü oluşturan yapılarda öne çıkarır (Balcıoğlu&Özdemir, 2020; Malkoçoğlu, 2007).

Mekanik Dayanım:

Çelik, hem çekme hem de basınç dayanımı açısından en yüksek mukavemete sahip yapı malzemesidir. Ortalama çekme dayanımı 400–550 MPa'ya kadar çıkabilir. Beton yüksek basınç dayanımına (20–60 MPa) sahipken, çekme dayanımı oldukça düşüktür ve bu nedenle genellikle donatıyla takviye edilir. Ahşap ise yoğunluğuna bağlı olarak değişkenlik gösteren 30–80 MPa arası çekme ve basınç dayanımına sahiptir (Malkoçoğlu, 2007; Yıldız&Özçelik, 2011).

Elastikiyet Modülü:

Çeliğin elastikiyet modülü yaklaşık 200 GPa'dır ve bu, onun rijitliğini ve deformasyona karşı direncini gösterir. Betonun elastikiyet modülü ise 20–40 GPa arasındadır. Ahşabın elastikiyet modülü daha düşüktür (10–15 GPa civarı) ancak darbe sönümleme ve enerji emme özellikleri sayesinde esnek yapı sistemlerinde avantaj sağlar (Yıldız&Arısoy, 2018).

2.2.2. Dayanıklılık ve Bakım

Çelik, korozyona karşı koruma sağlanmadığı takdirde paslanabilir. Beton zamanla çatlayabilir, karbonatlaşma ve donatı korozyonu gibi sorunlara maruz kalabilir. Ahşap ise biyolojik saldırılara (mantar, böcek) karşı hassastır ve düzenli bakım gerektirir. Ancak emprenye işlemleriyle ahşabın ömrü ciddi oranda uzatılabilir (Büyüksarı, 2010; Yıldız&Arısoy, 2018; Şimşek, 2019).

2.2.3. Yangın Davranışı

Çelik, yüksek sıcaklıklarda dayanımını hızla kaybeder. Betonun yüzeyi yangına dayanıklıdır ancak içyapısında su buharlaşması sonucu patlamalar olabilir. Ahşap ise yüzeyde kömürleşerek iç kısmın korunmasına olanak tanır (Yıldız&Özçelik, 2011; Demirtaş & Aksu, 2020).

2.2.4. Çevresel Etkiler ve Sürdürülebilirlik

Ahşap, karbon emisyonu açısından en çevreci yapı malzemesidir. Ağaçlar büyüme sürecinde atmosferden karbon emerek karbon yutağı görevi görür. Beton ve çelik ise üretimleri sırasında yüksek enerji tüketimi ve karbon salımı gerektirir. (Karahan&Özcan, 2020; Demir&Başaran, 2019; Güler&Yıldız, 2014).

2.2.5. Ekonomi ve Uygulama Kolaylığı

Genel olarak beton en düşük birim maliyete sahiptir. Çelik yüksek maliyetli olmakla birlikte hızlı montaj sağlar. Ahşap, bazı bölgelerde ekonomik olmakla birlikte büyük açıklıkların geçilmesinde sınırlıdır (Malkoçoğlu, 2007; Balcıoğlu&Özdemir, 2020; Turgut&Ateş, 2021).

2.2.6. Estetik ve Mimari Değer

Ahşap, doğal dokusu ve sıcak görünümüyle estetik açıdan ön plandadır. Çelik modern ve endüstriyel mimaride tercih edilirken, beton özgün formlar oluşturma kapasitesi ile mimari yaratıcılığı destekler (Yıldız&Arısoy, 2018; Kopkallı-Yavuz&Mutlu, 2009; Kahraman&Taş, 2022).

Ahşap, beton ve çeliğe ait mekanik dirençlerine ait karşılaştırma Tablo 2' de görülmektedir.

Tablo 2. Ahşap, Beton ve Çelik Malzemelerin Genel Özelliklerine Göre Karşılaştırılması

Özellikler	**Ahşap**	**Beton**	**Çelik**
Yoğunluk	Düşük	Orta	Yüksek
Basınç Dayanımı	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Çekme Dayanımı	Yüksek (lif yönü)	Düşük	Çok Yüksek
Elastikiyet	Düşük–Orta	Orta	Yüksek
Yangın Direnci	Kısmen Yüksek	Yüksek	Düşük (korumasızsa)
Çevresel Etki	Düşük (olumlu)	Yüksek	Yüksek
Estetik	Yüksek	Orta–Yüksek	Modern/Endüstriyel

Ahşap, beton ve çelik malzemelerin kullanım yerine göre tercih edilebilmesi için avantaj ve dezavantajları Tablo 3' de verilmiştir.

Tablo 3. Yapı Malzemelerinin Karşılaştırmalı Değerlendirmesi

Malzeme Türü	**Avantajlar**	**Dezavantajlar**
Ahşap	Hafif, yenilenebilir, karbon depolayıcı	Yangın riski, bilgi eksikliği
Beton	Basınca dayanıklı, ekonomik	Yüksek karbon salımı, düşük yalıtım
Çelik	Çekmeye dayanıklı, hızlı montaj	Paslanma riski, yüksek enerji tüketimi

Ahşap, beton ve çelik; farklı yapı sistemlerinde, farklı mühendislik ve mimarlık gerekliliklerine göre kullanılması gereken malzemelerdir. Ahşap sürdürülebilirlik, hafiflik ve estetik yönleriyle öne çıkarken; beton ve çelik yüksek dayanım, büyük açıklık geçme ve uzun ömürlü yapılar için daha uygundur. Günümüzde hibrit yapı sistemleriyle bu malzemelerin avantajları bir arada değerlendirilebilmekte ve daha etkili çözümler üretilebilmektedir. Bu anlamda dünyanın en yüksek hibrit binası Şekil 2' de görülmektedir.



Şekil 2. Shigeru Ban'dan Dünyanın En Yüksek Hibrit Ahşap Binası (URL-3)

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapı sistemlerinde ahşabın kullanımı, özellikle düşük katlı yapılarda ekonomik, estetik ve çevresel faydalar sağlar. Modern yapı sistemlerinde CLT ve LVL gibi ileri düzey mühendislik ürünleri sayesinde çok katlı binalarda da kullanımı mümkündür. Saha uygulamalarında görülen en büyük sorunlar ise montaj bilgisi eksikliği ve yerel yönetmeliklerdeki sınırlamalardır. Bu sınırlamaların yeniden değerlendirilmesi, ahşabın kamu yapılarında da yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında sürdürülebilir yapı malzemesi olarak ahşabın modern yapı teknolojilerindeki yeri ve potansiyeli değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda aşağıdaki genel sonuçlara ulaşılmıştır:

Ahşap, sürdürülebilir bir yapı malzemesi olarak çevresel açıdan önemli avantajlar sunmaktadır. Karbon depolama özelliği, düşük enerji tüketimiyle üretilebilmesi ve yenilenebilir bir kaynak oluşu, ahşabı özellikle iklim değişikliği ile mücadele kapsamında cazip kılmaktadır. Beton ve çelik gibi geleneksel yapı malzemelerine kıyasla çok daha düşük karbon salımı üretmektedir.

Modern mühendislik ürünleri sayesinde ahşabın taşıyıcılık kapasitesi artırılmıştır. CLT (Cross Laminated Timber) ve LVL (Laminated Veneer Lumber) gibi ileri teknolojiyle üretilmiş ahşap elemanlar, yüksek dayanım sunarak çok katlı binalarda kullanım imkânı yaratmaktadır. Bu ürünler, yapı fiziği, yangın direnci ve deprem dayanımı açısından çeşitli standartları karşılayabilmektedir.

Uygulamada karşılaşılan en büyük zorluklar bilgi eksikliği ve mevzuatsal sınırlamalardır. Türkiye'de ahşap yapı sistemlerinin yaygınlaşamamasının temel nedenlerinden biri, yerel yönetmeliklerdeki eksiklikler ve yapı denetim süreçlerinde ahşapla ilgili uzmanlık sahibi kişilerin azlığıdır. Ayrıca, yüklenici firmalarda ve sahada çalışan personelde modern ahşap sistemleri hakkında yeterli teknik bilgi bulunmaması, montaj ve uygulama süreçlerini zorlaştırmaktadır.

Kamu yapılarında ahşabın kullanım potansiyeli oldukça yüksektir. Özellikle okul, sağlık ocağı, kamu lojmanları gibi düşük katlı ve modüler yapı ihtiyacı olan alanlarda, ahşap sistemlerle hızlı, ekonomik ve çevreci çözümler üretmek mümkündür. Bu doğrultuda pilot uygulama projeleri teşvik edilmeli, kamu-özel sektör iş birliğinde örnek yapılar hayata geçirilmelidir.

Ahşap yapı sistemlerinin yaygınlaştırılması için çok disiplinli bir yaklaşım gereklidir. Mimar, inşaat mühendisi, malzeme bilimci ve çevre mühendislerinin ortak çalışmaları önem arz etmektedir. Eğitim kurumlarında ahşap yapı teknolojileri derslerine yer verilmeli ve sektörde çalışanların bu alanda bilgilendirilmesi sağlanmalıdır.

Öneriler:

•Mevzuat Güncellenmeli: Türkiye'deki yapı yönetmelikleri, modern ahşap yapı teknolojilerini kapsayacak şekilde revize edilmelidir. CLT ve benzeri malzemeler için taşıyıcı sistem hesaplarına yönelik özel düzenlemeler yapılmalıdır.

•Teknik Eğitimler Artırılmalı: Saha uygulayıcılarına ve mühendislere yönelik ahşap yapı sistemleri üzerine teknik eğitim programları düzenlenmelidir.

•Teşvik Mekanizmaları Geliştirilmeli: Yerli üretim ahşap yapı malzemelerinin kullanımını destekleyecek vergi indirimi, sübvansiyon veya yeşil bina teşvikleri uygulanmalıdır.

•Pilot Projeler Oluşturulmalı: Ahşap yapıların kamu projelerinde örnek uygulama olarak yer alması sağlanmalı; performansları izlenmeli ve yaygınlaştırılması desteklenmelidir.

•Ar-Ge Faaliyetleri Teşvik Edilmeli: Üniversiteler ve sanayi iş birliğiyle, Türkiye iklimine uygun dayanıklı ve ekonomik ahşap yapı çözümleri geliştirilmelidir. .

KAYNAKLAR

Balcıoğlu, H., & Özdemir, F. (2020). Yapı Malzemeleri Bilgisi. İstanbul: Nobel Akademik Yayıncılık.

Bozkurt, A. Y., & Erdin, N. (2000). Ağaç Malzeme Teknolojisi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Büyüksarı, U. (2010). Odun Anatomisi ve Kimyası. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Demir, A., & Başaran, B. (2019). Ahşap Yapılarda Sürdürülebilirlik Kriterlerinin İncelenmesi. İnşaat Teknolojileri Dergisi, 5(1), 24–33. Demirtaş, B., & Aksu, A. (2020). Yapı

Malzemelerinin Yangın Davranışlarının İncelenmesi. İnşaat Teknolojileri Dergisi, 6(1), 52–60.

Güler, C., & Yıldız, H. (2014). Ahşap Malzemenin Bileşimi ve Özellikleri. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 16(1), 31–41.

Karahan, A., & Özcan, B. (2020). Modern ahşap yapı teknolojileri ve Türkiye'deki uygulamalar. Yapı Bilimi ve Teknolojisi Dergisi, 15(2), 45–58.

Kahraman, E., & Taş, S. (2022). Ahşap Malzemenin Mekânsal Estetik Değeri. İç Mimarlık ve Tasarım Dergisi, 10(1), 22–35.

Kopkallı-Yavuz, H., & Mutlu, M. E. (2009). Online destek sistemlerinin eğitim başarısına etkisi. The Turkish Online Journal of Distance Education, 10(2). Malkoçoğlu, A. (2007). Ahşap Malzeme Bilgisi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları.

Şimşek, M. (2019). Ahşap Malzemenin Konut Yapılarında Kullanımı ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi (Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Turgut, P., & Ateş, İ. (2021). Ahşap Malzemelerin Yapılarda Kullanımı ve Maliyet Analizi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 25(3), 338–347.

Yıldız, S., & Özçelik, R. (2011). Ahşap yapı sistemleri ve sürdürülebilirlik. Orman Fakültesi Dergisi, 61(1), 67–74.

Yıldız, Ü., & Arısoy, M. (2018). Ahşap Malzemenin Yapı Teknolojilerindeki Önemi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(2), 49–58.

URL-1. https://insapedia.com/ahsabin-fiziksel-ve-mekanik-ozellikleri/#google_vignette 10.06.2025

URL-2. https://depositphotos.com/tr/photos/yap%C4%B1-malzemeleri.html 10.06.2025

URL-3. https://www.arkitera.com/haber/shigeru-bandan-dunyanin-en-yuksek-hibrit-ahsap-binasi 03.06.2025

KARACİĞER TRANSPLANTASYONUNDA HIZLANDIRILMIŞ İYİLEŞME PROTOKOLLERİ KULLANIMI

Prof. Dr. Neziha KARABULUT

Atatürk Üniversitesi

nezihekarabulut@hotmail.com- https://orcid.org/0000-0002-4621-0957

Doktora Öğrencisi Beyzanur KIZILOĞLU AĞGÜL

Atatürk Üniversitesi

beyzanurkiziloglu@hotmail.com - https://orcid.org/0000-0001-9329-9360

ÖZET

Cerrahi alanındaki güncel yaklaşımlarda, hasta güvenliğini artırma ve iyileşme sürecini hızlandırma açısından kanıta dayalı ve bütüncül uygulamalar ön plana çıkmaktadır. Bu kapsamda geliştirilen Hızlandırılmış İyileşme Protokolleri (ERAS), cerrahi sürecin her aşamasında klinik sonuçları iyileştirmeye yönelik sistematik bir çerçeve sunmaktadır. Transplantasyon, akut ya da kronik organ yetmezliği gibi durumlarda hayat kurtarıcı önemli bir müdahale olup hastaların yaşam kalitesini artırarak umut verici bir tedavi seçeneği oluşturmaktadır. Günümüzde hayatı tehdit eden ciddi karaciğer hastalıklarının tedavisinde karaciğer transplantasyonu yaygın olarak tercih edilmektedir. Karaciğer transplantasyonu sonrasında hastalarda gözlemlenen klinik ve hemodinamik değişiklikler nedeniyle, kapsamlı ve hedefe yönelik hemşirelik bakımının sağlanması gerekmektedir. Transplantasyonun hem erken hem de ileri dönemlerinde farklı komplikasyonlar ortaya çıkabilir. Her iki dönemde gelişebilecek komplikasyonlar, hastanın iyileşme sürecini doğrudan etkilemektedir. Komplikasyonların etkili bir şekilde yönetilmesi kritik bir öneme sahip olup uzun dönem bakımda taburculuk eğitimi ve evde takip süreçleri ön plana çıkmaktadır. Perioperatif dönemde iyileşmeyi hızlandırmak için hemşirelere büyük sorumluluklar düşmekte ve bütüncül bakım uygulamalarının benimsenmesi giderek daha kritik hale gelmektedir. Bu sorumlulukları yerine getirirken uygulanan ERAS protokolleri komplikasyon riskini azaltmaya, postoperatif iyileşme sürecini hızlandırmaya ve hasta sonuçlarını iyileştirmeye yönelik kanıta dayalı bütüncül bakım yaklaşımlarını içermektedir. Karaciğer transplantasyonunda ERAS Protokollerinin kullanımı hem hastaların iyileşme süreçlerini hızlandırarak komplikasyon risklerini en aza indirmeyi hem de cerrahi müdahalelerin fizyolojik yükünü azaltarak tedavi sürecini daha verimli hale getirmeyi sağlamaktadır. Sonuç olarak ERAS protokollerinin uygulanması, hasta sonuçlarını iyileştirme ve iyileşme sürecini hızlandırmada oldukça etkili olup tedavinin başarısını ve bakımın kalitesini pozitif yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Karaciğer Transplantasyonu, ERAS Protokolü, Postoperatif İyileşme, Hemşirelik Bakımı.

1. GİRİŞ

Türk Dil Kurumu Güncel Türkçe Sözlük'te organ nakli; "işlevini yitirmiş bir organın yerine sağlam bir organı koyma, organ aktarımı, transplantasyon" şeklinde tanımlanmaktadır (TDK, 2025). Transplantasyon; fonksiyonunu kaybetmiş bir organın yerine, canlı bir vericiden ya da kadavradan temin edilen sağlıklı bir organın cerrahi yöntemlerle yerleştirilmesi işlemidir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2016). Transplantasyon, hastalıksız bir yaşam hedefiyle birlikte yaşam kalitesinin yükselmesi ve iyileşme oranlarının artması gibi olumlu sonuçlar sağlayarak hastalar için umut vadeden bir tedavi alternatifidir. Ayrıca transplantasyon; akut ya da kronik organ yetmezliği gibi çeşitli klinik durumlarda uygulanabilen, yaşam kurtarıcı bir tedavi yöntemi olarak değerlendirilmektedir (Emiral ve ark., 2017). Transplantasyon sayılarındaki artış ve hasta sonuçlarında beklenen iyileşmenin sağlanabilmesi, bu alanda uzmanlaşmış sağlık profesyonellerinin varlığını gerekli kılmaktadır. Transplantasyonun başarıya ulaşabilmesi; tıp, hemşirelik, psikoloji, sosyoloji, hukuk ve din gibi çeşitli disiplinlerin bir arada değerlendirilmesi ve bu alanlarda yetkinliği olan multidisipliner bir ekibin oluşturulması ile mümkündür (Hatipoğlu ve ark., 2017). Bu nedenle sadece cerrahi tekniklerin değil, aynı zamanda disiplinler arası iş birliğinin niteliği de transplantasyon sürecinin başarısını doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır.

Günümüzde karaciğer transplantasyonu özellikle yaşamı tehdit eden ve diğer tedavilere yanıt vermeyen son dönem karaciğer yetmezliği vakalarında yaşamı sürdürme ve koruma potansiyeline sahip, en etkili tedavi seçeneği olarak öne çıkmaktadır (Harputluoğlu ve ark., 2025; Karabulut & Aktaş, 2012). Karaciğer transplantasyonu, ileri evre karaciğer hastalığı bulunan bireylerde morbidite ve mortalite oranlarını azaltabilen, yaşam süresini uzatabilen ve genel yaşam kalitesini anlamlı şekilde iyileştirebilen başlıca tedavi yöntemlerinden biridir (Sarıgöl Ordin & Çömez, 2023). Ayrıca bu yöntem, akut ve kronik son evre karaciğer hastalıklarının yanı sıra karaciğeri etkileyen çeşitli metabolik ve konjenital hastalıklar için potansiyel olarak küratif tedavi yaklaşımını temsil etmektedir (Angelico ve ark., 2005).Karaciğer transplantasyonu bekleme listesinde yer alan bir hastanın izlem ve yönetimi, yalnızca cerrahi müdahale sürecini değil, aynı zamanda postoperatif dönemde uzun süreli immünosupresif tedavi uygulanmasını engelleyebilecek olası durumların da kontrol altına alınmasını hedeflemektedir. Bu süreç, standart bir değerlendirme protokolü ile sınırlı olmayıp; her bir alıcı adayının bireysel koşulları doğrultusunda potansiyel yarar ve riskler dikkate alınarak multidisipliner bir ekip tarafından kapsamlı biçimde değerlendirilmelidir (Sarıgöl Ordin& Çömez, 2023).

2. KARACİĞER TRANSPLANTASYONU VE HIZLANDIRILMIŞ İYİLEŞME PROTOKOLLERİ (ERAS)

2.1. Karaciğer Transplantasyonunun Tanımı ve Tarihsel Gelişimi

Karaciğer transplantasyonu, beyin ölümü gerçekleşmiş donörlerden ya da sağlıklı bireylerden fonksiyonlarını sürdüren karaciğer dokusunun bir bölümünün alınıp alıcının hastalıklı karaciğeri ile cerrahi olarak değiştirilmesi işlemidir (Karabulut & Aktaş, 2012). Dünya'da ilk başarılı karaciğer naklini 1967 yılında Thomas E. Starzl yapmıştır. Dünya'da yapılan ilk karaciğer naklinden yaklaşık 21 yıl sonra Türkiye'de ilk karaciğer nakli Dr. Haberal ve arkadaşları tarafından 8 Aralık 1988 yılında gerçekleştirilmiştir (TOND, 2014; Moray ve ark., 2014). Canlı donörden karaciğer nakli 1988 yılında Brezilya'da uygulanmış, ancak bu girişimde alıcının yaşamını yitirmesi nedeniyle başarı elde edilememiştir (Raia ve ark., 1989). Bu başarısızlığa rağmen çalışmalar kesintiye uğramadan sürdürülmüş ve ilk başarılı canlı vericili karaciğer nakli, 1989 yılında Strong ve arkadaşları tarafından bir yetişkinden bir çocuğa gerçekleştirilmiştir (Strong ve ark., 1990). Dünya Sağlık Örgütü'nün Küresel Organ Nakli Gözlemevi (GODT) 2022 yılı tahmini verilerine göre 91 üye devletten elde edilen bilgilere dayanarak dünya genelinde yaklaşık 37.436 karaciğer nakli gerçekleştirilmiştir. Bu nakillerin yaklaşık %24'ü canlı vericilerden yapılan nakilleri kapsamaktadır. Bu oranlar küresel karaciğer nakli ihtiyacının yalnızca küçük bir kısmını karşılayabilmektedir. Raporda ayrıca tüm solid organ nakillerinde 2021 yılına kıyasla %9,1 oranında bir artış yaşandığı belirtilmektedir (WHO, 2022). Bu veriler, dünya genelinde karaciğer nakli ihtiyacının hâlen büyük ölçüde karşılanamadığını ve özellikle canlı donör oranlarının sınırlı kalmasının tedaviye erişimde önemli bir engel oluşturduğunu göstermektedir.

2.2. Karaciğer Transplantasyonunda Klinik Yönetim ve Komplikasyonlar

Karaciğer transplantasyonu sonrası dönem, çeşitli klinik ve hemodinamik değişimlerin eşlik ettiği, özel ve bütüncül hemşirelik bakımına ihtiyaç duyulan bir süreçtir (Sarıgöl Ordin& Çömez, 2023). Komplikasyonlar, karaciğer transplantasyonu sonrası hem erken hem de geç dönemde gelişebilmektedir. Ameliyattan hemen sonraki dönemde görülen başlıca komplikasyonlar arasında greftin yeterli çalışmaması (disfonksiyon ve red), cerrahi teknik kaynaklı problemler, bakteriyel, fungal veya viral etkenli enfeksiyonlar ve akciğer, böbrek veya sinir sistemi ile ilgili sistemik sorunlar yer almaktadır. Uzun dönemde ise komplikasyonların büyük bölümü uzun süreli immünosüpresif tedavilerin etkisine bağlı olarak ortaya çıkar. Bu süreçte en sık karşılaşılan durumlar arasında diyabet, sistemik hipertansiyon, yeni tümör oluşumları (de novo neoplaziler) ve özellikle böbrekleri etkileyen organ toksisiteleri bulunmaktadır (Moreno & Berenguer, 2006). Tüm büyük abdominal cerrahi girişimlerde olduğu gibi karaciğer transplantasyonu sonrası erken dönemde kanama ve enfeksiyon gelişme riski de söz konusudur. Uzun dönem takipte ise özellikle ilk yıldan sonra alıcılar için en önemli sorunlardan biri, immünsupresif tedaviye bağlı olarak gelişen metabolik sendromdur (Harputluoğlu ve ark., 2025). Erken postoperatif dönemde ortaya

çıkan komplikasyonlar yoğun bakım ve klinik izlem süreçlerinde nitelikli hemşirelik müdahaleleri gerektirir. Buna karşılık geç dönem sonuçlar ise taburculuk sonrası dönemde kapsamlı bir hasta eğitimi ve evde devam eden bakım hizmetlerini gerektirmektedir (Ordin& Çömez, 2023). Karaciğer transplantasyonu sonrasında hastaların yaşam kalitesi; fizyolojik, psikososyal ve ekonomik açılardan ciddi şekilde etkilenebilmektedir. Bu süreçte, bireylerin tedavi sürecine uyum göstermeleri ve günlük yaşamlarını etkin bir şekilde sürdürebilmeleri açısından hemşirelik bakımının rolü oldukça önemlidir (Kişin ve ark., 2023). Günümüzde komplikasyonları azaltmak ve iyileşme sürecini hızlandırmak amacıyla cerrahi alanda farklı protokoller geliştirilmektedir. Bu yaklaşımlardan biri olan Hızlandırılmış İyileşme Protokolü (ERAS) son yıllarda karaciğer transplantasyonuna da entegre edilmeye çalışılmaktadır.

2.3. Karaciğer Transplantasyonunda Hızlandırılmış İyileşme Protokolleri Kullanımı

Karaciğer transplantasyonu sonrası dönemde ortaya çıkan komplikasyonlar, hasta konforunu ve tedavi sürecinin başarısını doğrudan etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu nedenle, postoperatif iyileşmeyi hızlandırmaya ve hasta sonuçlarını iyileştirmeye yönelik bütüncül yaklaşımların uygulanması giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda ameliyat sonrası hızlı iyileşmeyi hedefleyen ERAS protokolü, perioperatif dönemde ortaya çıkan stres yanıtını en aza indirmeyi ve majör cerrahileri takiben kısa vadeli klinik sonuçları iyileştirmeyi amaçlayan çok bileşenli bir yaklaşımdır (Pollok ve ark., 2023). ERAS protokolü, hastanın cerrahi sürecinin yalnızca ameliyat anını değil, poliklinikte başlayan ve taburculuk sonrası evde devam eden tüm iyileşme sürecini kapsayacak şekilde kapsamlı değişiklikler önermektedir. Bu protokolün temel yaklaşımı; cerrahi müdahaleye bağlı gelişen metabolik stresi en aza indirerek, hastanın fonksiyonlarını mümkün olan en kısa sürede geri kazanmasını desteklemek ve normal günlük yaşantıya hızlı bir şekilde dönüşünü sağlamaktır (Gündoğdu, 2018). ERAS protokolü; preoperatif, intraoperatif ve postoperatif dönemleri kapsayan toplam 25 temel uygulama başlığından oluşmaktadır. Bu uygulamalar arasında hastanın bilgilendirilmesi, preoperatif açlık, preoperatif barsak temizliği, tromboemboli profilaksisi, postoperatif bulantı ve kusmanın multimodal yönetimi, perioperatif sıvı yönetimi ve postoperatif analjezi gibi önemli başlıklar yer almaktadır (ERAS, t.y.). ERAS protokolü; bakım süreçlerini daha nitelikli hâle getirmek, hastaların yoğun bakım ve hastane yatış sürelerini azaltmak, toplam tedavi giderlerini düşürmek, sağlık kaynaklarının etkin kullanımını sağlamak ve hastaların iyileşme sürecini hızlandırmak amacıyla çeşitli cerrahi girişimlerde uygulanmıştır. Karaciğer naklinde diğer cerrahi işlemlerden farklı olarak, kendine özgü riskler ve perioperatif sürecin karmaşık yapısı nedeniyle ERAS protokolleri tam anlamıyla uygulanamamaktadır (Xu ve ark., 2020).

2.4. Karaciğer Transplantasyonunda Hızlandırılmış İyileşme Protokollerine Yönelik Kanıta Dayalı Bulgular

Karaciğer transplantasyon cerrahisinde ERAS protokolü, kanıta dayalı uygulamalar doğrultusunda iyileşme sürecini en üst düzeye çıkarmayı, klinik sonuçları iyileştirmeyi ve cerrahinin fizyolojik yükünü azaltmayı amaçlamaktadır. Bununla birlikte, her karaciğer nakli vakası kendine özgü dinamikler taşıdığından ERAS protokolleri; hastanın mevcut klinik durumu, donörün özellikleri ve cerrahi müdahalenin niteliği göz önünde bulundurularak bireyselleştirilmelidir (Shankar ve ark., 2024). Karaciğer transplantasyonuna özgü kapsamlı ERAS protokollerinin oluşturulması, tedavi sürecinin çok boyutlu yapısı, son evre karaciğer hastalığına eşlik eden yüksek morbidite oranları ve sınırlı hasta sayısı gibi etkenler nedeniyle çeşitli zorluklar barındırmaktadır. Ancak, çoklu yöntemleri bir araya getiren ve disiplinler arası iş birliğine dayanan bakım modeli, iyileşme sürecini destekleyen etkili yaklaşımların uygulanması açısından güçlü bir temel sunmaktadır (Pollok ve ark., 2023). Literatür incelendiğinde Rao ve ark. tarafından yapılan bir çalışma sonucunda elde edilen bulgular hızlı cerrahi yönteminin karaciğer transplantasyonu geçiren hastalarda ameliyat süresini ve anhepatik fazı kısaltabileceğini, ameliyat sırasında meydana gelen kan kaybını azaltabileceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra hızlı cerrahinin yoğun bakım ünitesinde ve hastanede kalış süresinde kısaltma potansiyeline sahip olduğu, buna karşın gruplar arasında ameliyat sonrası komplikasyon açısından bir fark olmadığı belirlenmiştir. Sonuç olarak hızlı cerrahi yönteminin karaciğer nakli hastalarında güvenli ve uygulanabilir olduğu ortaya konmuştur (Rao ve ark., 2017). Xu ve ark. tarafından yürütülen retrospektif bir çalışmada ERAS grubunun kontrol grubuyla kıyaslandığında daha kısa süreyle cerrahi yoğun bakım ünitesinde kaldığı ve postoperatif hastanede kalış süresinin daha kısa olduğu belirlenmiştir. Ayrıca ERAS grubunda intraoperatif hipotermi oranı, postoperatif pulmoner komplikasyon oranı ve postoperatif ağrı skoru daha düşük bulunmuştur. Bununla birlikte operasyon süresi, alt ekstremite venöz trombozu ve diğer komplikasyonların insidansı açısından iki grup arasında anlamlı bir fark saptanmadığı görülmüştür (Xu ve ark., 2020). Benzer şekilde yapılan bir meta analiz çalışmasında da karaciğer rezeksiyonundan sonra ERAS programlarındaki hastalarda hastanede kalış sürelerinin daha kısa olduğu ve daha az postoperatif komplikasyon olduğu görülmüştür (Lei ve ark. 2014). Brustia ve ark., ERAS protokolünün uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla küçük ölçekli bir fizibilite çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada ERAS protokolü doğrultusunda prospektif olarak tedavi edilen 10 hasta ile aynı ekip tarafından önceki yıllarda tedavi edilen ve benzer özelliklere sahip 20 hastadan oluşan kontrol grubu karşılaştırılmıştır. Araştırmacılar ayrıntılı bir şekilde hazırladıkları 26 maddelik ERAS protokolünü uygulamış ve kontrol grubuna kıyasla toplam hastanede kalış süresinde %47 oranında bir azalma olduğunu; ancak her iki grup arasında taburculuk sonrası postoperatif komplikasyonlar veya yeniden hastaneye yatış oranları açısından herhangi bir fark olmadığı saptanmıştır (Brustia ve ark., 2019). Tüm bu bulgular ERAS protokolünün karaciğer transplantasyon cerrahisinde uygulanabilirliğini desteklemekle birlikte; hastanede kalış süresi ve erken dönem iyileşme göstergelerinde anlamlı kazanımlar sağladığını ancak bazı komplikasyon oranları açısından henüz kesin bir üstünlük sunmadığını ortaya koymaktadır.

3. SONUÇ

Karaciğer transplantasyonu, özellikle ileri evre karaciğer hastalıklarında hem yaşam süresini uzatması hem de yaşam kalitesine olan katkılarıyla dikkat çeken bir tedavi yöntemi olmaktadır. Bununla birlikte transplantasyon; sadece cerrahi girişimin kendisiyle sınırlı kalmayıp karmaşık takip süreçlerini ve çok yönlü komplikasyon risklerini de beraberinde getirmektedir. Tüm bu yönleriyle düşünüldüğünde hastanın sürece adaptasyonu için çok disiplinli ve kapsamlı bir bakım yaklaşımına ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Bu bağlamda cerrahinin farklı aşamalarında iyileşmeyi hızlandırmaya yönelik geliştirilen ERAS protokolü; günümüzde pek çok cerrahi alanda olumlu sonuçlar vermiştir ve karaciğer transplantasyonu için de uyarlanabilirliği ifade edilmiştir.

Mevcut literatür ERAS uygulamalarının çoğu olumlu etkilerini ortaya koymakla birlikte her hasta grubunun kendine özgü özellikleri olduğu için bu protokolün sabit bir biçimde uygulanmasının yanı sıra bireyselleştirilmiş olarak planlanması gerektiğine dikkat çekmektedir. Bazı çalışmalarda komplikasyon oranlarında anlamlı farklar saptanamamış olması ERAS protokolünün etkinliğinin karaciğer nakli özelinde daha dikkatli ve çok boyutlu değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

Karaciğer transplantasyonu gibi karmaşık yapıya sahip cerrahilerde, ERAS protokolünün her yönüyle uygulanması her zaman mümkün olamayabilir. Bu nedenle, mevcut kılavuzların karaciğer transplantasyonu özelinde yeniden düzenlenmesi ve hemşirelik bakımına özgü alt protokoller geliştirilmesi klinik başarıyı artırmada belirleyici olabilir. Ayrıca, hastaların memnuniyet düzeyi, evde bakım ihtiyaçları ve uzun dönem yaşam kalitesi gibi daha subjektif ama önemli çıktılar üzerine odaklanan geniş çaplı ve çok merkezli çalışmalara da ihtiyaç duyulmaktadır.

.

KAYNAKÇA

Angelico, M., Gridelli, B., & Strazzabosco, M. (2005). Practice of adult liver transplantation in Italy: Recommendations of the Italian Association for the Study of the Liver (A.I.S.F). *Digestive and Liver Disease, 37,* 461–467.

Brustia, R., Monsel, A., Conti, F., Savier, E., Rousseau, G., Perdigao, F., ... & Scatton, O. (2019). Enhanced recovery in liver transplantation: A feasibility study. *World Journal of Surgery, 43*(1), 230–241.

Emiral, G. O., Atalay, B. I., Altunok, H., Gökler, M. E., Önsüz, M. F., & Metintaş, S. (2017). Development of a reliable and valid organ tissue donation and transplantation knowledge scale. *Transplantation Proceedings, 49*(2), 260–266.

ERAS Türkiye. (t.y.). *ERAS Nedir?*. https://eras.org.tr/page.php?id=10 (Erişim tarihi: 07.06.2025)

Global Observatory on Donation and Transplantation. (2023). *Organ donation and transplantation activities 2022: Global report*. https://www.transplant-observatory.org/wp-content/uploads/2023/11/2022-data-global-report_VF_2.pdf (Erişim tarihi: 11.06.2025)

Gundogdu, H. (2018). ERAS: History and philosophy. *Comprehensive Medicine, 10*(Supp. 1), 1–4.

Harputluoğlu, M., Seçkin, Y., & Sağlam, O. (2025). Karaciğer transplantasyonu. *Türkiye Klinikleri Gastroenterohepatology - Special Topics, 18*(1), 94–102.

Hatipoğlu, S., Karayurt, Ö., Ordin, Y. S., & İşeri, Ö. P. (2017). Past, present and future of organ transplant nursing in Turkey. *Florence Nightingale Journal of Nursing, 25*(1), 49–58.

Karabulut, N., & Aktaş, Y. Y. (2012). Karaciğer transplantasyonu sonrası hastaların yaşadığı sorunlar ve hemşirelik girişimleri. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi, 1*(1), 37–42.

Kişin, Ş. Ç., Öz, E. N., & Şen, S. (2023). Karaciğer nakli hastasında ameliyat sonrası hemşirelik bakımı: Olgu sunumu. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi*, 27(1), 54–66.

Lei, Q., Wang, X., Tan, S., Xia, X., Zheng, H., & Wu, C. (2014). Fast-track programs versus traditional care in hepatectomy: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Digestive Surgery*, 31(4–5), 392–399.

Moray, G., Arslan, G., & Haberal, M. (2014). The history of liver transplantation in Turkey. *Experimental and Clinical Transplantation, 12*(Suppl 1), 20–23.

Moreno, R., & Berenguer, M. (2006). Post-liver transplantation medical complications. *Annals of Hepatology, 5*(2), 77–85.

Ordin, Y. S., & Çömez, S. (2023). Karaciğer transplantasyonu ve kanıta dayalı hemşirelik uygulamaları. *Türkiye Klinikleri Surgical Nursing - Special Topics, 9*(1), 46–55.

Pollok, J. M., Tinguely, P., Berenguer, M., Niemann, C. U., Raptis, D. A., Spiro, M., ... & Boehly, J. (2023). Enhanced recovery for liver transplantation: Recommendations from the 2022 International Liver Transplantation Society consensus conference. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology, 8*(1), 81–94.

Raia, S., Nery, J. R., & Mies, S. (1989). Liver transplantation from live donors. *The Lancet, 334*(8661), 497.

Rao, J. H., Zhang, F., Lu, H., Dai, X. Z., Zhang, C. Y., Qian, X. F., ... & Lu, L. (2017). Effects of multimodal fast-track surgery on liver transplantation outcomes. *Hepatobiliary & Pancreatic Diseases International, 16*(4), 364–369.

Shankar, V., Chatterji, C., & Chawla, S. (2024). Enhanced recovery after surgery (ERAS) protocols in liver transplant recipients—Challenges and strategies for implementation: A review article. *Apollo Medicine*.

Strong, R. W., Lynch, S. V., Ong, T. H., Matsunami, H., Koido, Y., & Balderson, G. A. (1990). Successful liver transplantation from a living donor to her son. *The New England Journal of Medicine, 322*(21), 1505–1507.

T.C. Sağlık Bakanlığı. (t.y.). *Her bağış yeni bir hayattır*. https://www.saglik.gov.tr/TR-2635/her-bagis-yeni-bir-hayattir.html (Erişim tarihi: 11.06.2025)

Türk Dil Kurumu. (t.y.). *Güncel Türkçe Sözlük*. https://sozluk.gov.tr/ (Erişim tarihi: 11.06.2025)

Türkiye Organ Nakli Derneği. (t.y.). *Organ nakli hakkında*. https://www.tond.org.tr/ (Erişim tarihi: 11.06.2025)

Xu, Q., Zhu, M., Li, Z., Zhu, J., Xiao, F., Liu, F., ... & Liu, C. (2020). Enhanced recovery after surgery protocols in patients undergoing liver transplantation: A retrospective comparative cohort study. *International Journal of Surgery, 78*, 108–112.

TOTAL DİZ PROTEZİ SONRASI MOBİL SAĞLIK UYGULAMALARININ ETKİLERİ

Prof. Dr. Neziha KARABULUT
Atatürk Üniversitesi
nezihekarabulut@hotmail.com- https://orcid.org/0000-0002-4621-0957

Doktora Öğrencisi Beyzanur KIZILOĞLU AĞGÜL
Atatürk Üniversitesi
beyzanurkiziloglu@hotmail.com - https://orcid.org/0000-0001-9329-9360

ÖZET

Mobil sağlık uygulamaları, bireylerin sağlık süreçlerine daha bilinçli ve etkin katılımını destekleyerek hasta sonuçlarını olumlu yönde etkilemektedir. Bu uygulamalar sağlık bilgilerine kolay erişim, uzman rehberliğiyle hastalığı yönetme ve sağlık profesyonelleriyle iletişim kurma olanağı sunarak, özellikle kronik hastalık yönetimi ve postoperatif takip gibi süreçlerde etkili bir rol oynamaktadır. Total diz protezi sonrası dönemde hastalar; ağrı, hareket kabiliyetinde azalma, fonksiyonel yetersizlik ve günlük yaşam aktivitelerinde zorlanma gibi çeşitli sorunlarla karşı karşıya kalabilir. Yaşanan bu problemler, hastaların hem fiziksel hem de psikolojik durumunu olumsuz yönde etkileyerek iyileşme sürecini zorlaştırmaktadır. Buna bağlı olarak yaşam kalitesi azalmakta ve genel iyilik hali etkilenmektedir. Bu kapsamda, mobil sağlık uygulamalarının total diz protezi sonrası rehabilitasyon süreçlerinde kullanımı, fonksiyonel iyileşmeyi destekleyerek ağrı yönetimi ve eklem hareket açıklığının korunması gibi sonuçlarını iyileştirmekte; hasta memnuniyeti ve tedaviye uyumun güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak, total diz protezi sonrası rehabilitasyonda mobil sağlık uygulamalarının kullanımı hem bireysel sağlık yönetimini güçlendirmesi hem de sağlık hizmetlerinin dijital dönüşümüne katkı sağlaması açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Total Diz Protezi, Mobil Sağlık Uygulamaları, Postoperatif Rehabilitasyon, Hemşirelik Bakımı.

1. GİRİŞ

Diz eklemine yönelik uygulanan total diz protezi, günümüzde en sık tercih edilen ve yüksek başarı oranına sahip planlı majör cerrahi girişimlerden biri olma özelliğini korumaktadır. Toplumda yaşlanan nüfus profili, bu operasyona olan ihtiyacın belirgin şekilde artmasına neden olmuştur (Dooley & Secretan, 2016). Total diz protezi ameliyatı, diz ekleminde hasara yol açan patolojileri ortadan kaldırmak amacıyla hasarlı eklem yapılarını yapay bileşenlerle değiştiren bir cerrahi girişimdir. Total diz protezinin öncelikli amacı, osteoartrite bağlı gelişen ağrıyı hafifletmek ve dizin hareket kabiliyeti ile işlevselliğini yeniden kazandırmaktır. Bu işlem, özellikle hareket kabiliyetinde azalma ve yürüme sorunları yaşayan hastalar için fonksiyonel iyileşme sağlamayı hedefler (Nurse Together, 2023; Bontempi ve ark., 2017).

2. TOTAL DİZ PROTEZİ VE MOBİL SAĞLIK UYGULAMALARI

2.1. Total Diz Protezi Endikasyonları

Total diz protezine yönelik cerrahi endikasyonlar arasında, başta osteoartrit olmak üzere; inflamatuvar artrit, romatoid artrit, osteokondromatozis ve villonodüler sinovit gibi eklem hastalıkları yer almaktadır. Ayrıca metabolik artrit, travma sonrası gelişen artrit, intraartiküler kırıklar, ankiloz ve başarısız tibial osteotomi girişimleri de cerrahi karar sürecini destekleyen diğer patolojiler arasında sayılmaktadır (Kuzuca & Güçlü, 2021). Total diz protezine başvurulmasının temel gerekçesi, artrite bağlı gelişen ve hastanın yürüme kapasitesini belirgin şekilde sınırlayan, günlük yaşam aktivitelerini yerine getirmesini engelleyen ve uyku düzenini bozan inatçı ağrıdır. Bu semptomların, yaygın olarak erişilebilen, daha az invaziv ve ekonomik açıdan daha uygun tedavi yöntemlerine yanıt vermemesi beklenmektedir. Cerrahi girişimin kaçınılmaz olduğu netleştirildiğinde ise uygun vakalarda osteotomi ya da yalnızca ilgili kompartımanın değiştirilmesi gibi total diz protezi dışında kalan alternatifler değerlendirmeye alınmalıdır (Dooley & Secretan, 2016).

2.2. Total Diz Protezi Kontrendikasyonları

Total diz protezi uygulamasını engelleyen mutlak kontrendikasyonlar arasında; diz ekleminde aktif enfeksiyon varlığı, sistemik enfeksiyona bağlı gelişen bakteriyemi, dizin ekstansör mekanizmasının işlev kaybı ve önceden ağrısız şekilde gerçekleştirilen artrodezis mevcudiyeti yer almaktadır (Altıntaş ve ark., 2009). Ayrıca kronik enfeksiyonlar ve ciddi düzeyde vasküler hastalıklar da total diz protezinin uygulanmasını engelleyen durumlar arasında değerlendirilir. Bununla birlikte bazı klinik durumlar göreceli kontrendikasyon niteliğindedir. Bu bağlamda genel kas hastalıkları, bağışıklık yetmezliği, yeterli cilt bütünlüğünün sağlanamaması, obezite, nöropatik

eklem hastalıkları ve daha önce osteomiyelit öyküsü bulunan bireylerde cerrahi planlama dikkatle yapılmalıdır (Kuzuca & Güçlü, 2021).

2.3. Total Diz Protezine Bağlı Görülen Komplikasyonlar

Total diz protezi uygulamaları sonrasında gelişebilecek komplikasyonlar oldukça geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Bu komplikasyonlar arasında kanama, cerrahi alan enfeksiyonları, tromboembolik olaylar (ör. derin ven trombozu, pulmoner emboli), sinir ve damar hasarları, medial kollateral bağ zedelenmeleri yer almaktadır (Healy ve ark., 2013). Ayrıca eklem instabilitesi, protezde yanlış hizalanma, ekstansör mekanizma disfonksiyonu, protez yüzeylerinde aşınma ve osteoliz, implant gevşemesi, protez kırığı, tibial insert ayrılması gibi implantla ilişkili mekanik sorunlar da görülebilir. Patellofemoral ve tibiofemoral çıkık, artrofibrozis, aseptik gevşeme ve periprostetik kırıklar ise total diz protezine özgü komplikasyonlar arasında sayılmaktadır (Healy ve ark., 2013; Altıntaş ve ark., 2009). Bu tür sorunlar hastanın yeniden hastaneye yatırılmasına, revizyon cerrahisine ihtiyaç duyulmasına ve nadiren de olsa mortaliteye yol açabilir (Healy ve ark., 2013).

Günümüzde total diz protezi uygulama sıklığındaki artışa paralel olarak, cerrahi tekniklerdeki ilerlemeler ve artan klinik deneyime rağmen komplikasyon oranlarında da yükseliş gözlemlenmektedir. Bu nedenle protezin doğru ve etkili bir şekilde uygulanması kadar, ortaya çıkabilecek komplikasyonların erken dönemde tanınması ve uygun klinik yaklaşımlarla yönetilmesi de büyük önem taşımaktadır (Basa, 2019). Komplikasyon riskini azaltmak adına preoperatif hasta değerlendirmesi, cerrahi teknik yeterliliği ve postoperatif takip süreci birbirini tamamlayan temel unsurlardandır.

2.4. Total Diz Protezi ve Hemşirelik Bakımı

Total diz protezi ameliyatı kapsamlı bir ortopedik cerrahi müdahale olup; hastalar bu sürecin ameliyat öncesi, intraoperatif ve postoperatif dönemlerinde fiziksel, ruhsal ve sosyal açıdan çeşitli zorluklarla karşı karşıya kalabilmektedir. Ameliyat sonrası iyileşme sürecinin uzun sürmesi ve enfeksiyon riskine bağlı olarak hastaların erken taburcu edilmesi, hasta ve aile bireylerinin çeşitli zorluklar yaşamasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, protez uygulanmasına karar verildiği andan itibaren; ameliyat öncesi hazırlık, taburculuk sonrası yaşam tarzı değişikliklerine adaptasyon ve evde sürdürülecek rehabilitasyon süreçlerinin planlanması, bakım hizmetlerinde sürekliliğin sağlanması açısından kritik önem taşımaktadır. Tüm bu aşamalarda ortopedi hemşirelerinin rehberlik ve danışmanlık rolü belirleyici bir işlev üstlenmektedir (Kaya & Bilik, 2020; Savcı & Bilik, 2015). Sonuç olarak, osteoartrite bağlı yaşanan şikayetler, cerrahiye karar verme sürecinin yarattığı belirsizlik, ameliyata dair kaygılar, erken taburculuk uygulamaları, ortopedik cerrahilerin yüksek ağrı düzeyiyle seyretmesi, komplikasyon riskinin fazla olması ve iyileşme sürecinin uzun sürmesi gibi birçok etken, total diz protezi uygulanan bireylerin uzun süreli ve kapsamlı profesyonel desteğe ihtiyaç duymasına yol açmaktadır. Bu süreçte hasta ve

yakınlarının ameliyat öncesinden başlayarak tüm iyileşme dönemini sağlıklı bir şekilde yönetebilmesi adına ortopedi hemşirelerine önemli sorumluluklar düşmektedir. Özellikle hemşirenin rehberlik ve danışmanlık rolü hem fiziksel iyileşmenin desteklenmesinde hem de protezle yaşamın uyumlanmasında kritik bir öneme sahiptir (Kaya & Bilik, 2020).

Total diz protezi ameliyatı planlanan bireylerde, standart preoperatif ve postoperatif bakım uygulamalarına ek olarak; hastanın rehabilitasyon sürecine uyumunun artırılması, diz eklem fonksiyonlarının yeniden kazandırılması, erken mobilizasyonun sağlanması ve cerrahiye bağlı gelişebilecek komplikasyonların önlenmesi hemşirelik bakımının temel hedefleri arasında yer almaktadır (Bilik, 2017). Ameliyat sonrası bakım sürecinde; diz ekleminin uygun pozisyonda tutulması, ağrı ve enfeksiyon belirtilerinin yakından izlenmesi, ilaçlı ve ilaçsız ağrı yönetimi, aseptik pansuman uygulamaları, fizik tedaviye hazırlık ve erken mobilizasyonun teşviki gibi çok yönlü hemşirelik girişimleri hastanın fonksiyonel iyileşmesini desteklemek ve olası komplikasyonları önlemek amacıyla uygulanmaktadır (Nurse Together, 2023).

2.5. Mobil Sağlık Uygulamaları

Son yıllarda teknolojinin sağlık alanına entegrasyonuyla birlikte mobil sağlık uygulamalarının kullanım oranlarında belirgin bir artış yaşanmaktadır (Nussbaum ve ark., 2019). Günümüzde mobil sağlık uygulamaları, hasta eğitiminin desteklenmesinde giderek daha etkili bir araç haline gelmektedir (Timmers ve ark., 2018). Mobil sağlık uygulamaları, bireylerin sağlıkla ilgili bilgilere ve kaynaklara kolayca erişebilmesini sağlayarak sağlık hizmetleriyle kurdukları etkileşim biçimlerini önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu uygulamalar sayesinde kullanıcılar; fiziksel aktivite düzeylerini, beslenme alışkanlıklarını ve ilaç kullanımına uyumlarını daha düzenli bir şekilde takip edebilmekte, bu da özellikle kronik hastalıkların bireysel düzeyde daha etkin yönetilmesine katkı sunmaktadır. Kendi sağlıklarını izleme ve yönetme konusunda daha aktif bir rol üstlenen bireyler, bu sayede daha olumlu sağlık sonuçları elde edebilmekte ve sağlık hizmetleriyle ilişkili maliyetlerde azalma sağlanabilmektedir. Ayrıca mobil sağlık uygulamaları, hastalar ile sağlık profesyonelleri arasındaki etkileşimi güçlendirerek uzaktan izleme ve sanal danışmanlık gibi hizmetlerin kullanımını kolaylaştırmakta; bu da müdahalelerin zamanında gerçekleştirilmesini ve bakım süreçlerinin daha koordineli yürütülmesini mümkün kılmaktadır. Sonuç olarak, bu dijital araçlar hasta merkezli bakımın niteliğini artırmakta ve sağlık sonuçlarını iyileştirmektedir (Okolo ve ark., 2024).

Mobil sağlık uygulamalarının cerrahi sistemlere entegrasyonu, bakım süreçlerinin verimliliğini artırma, hasta merkezli yaklaşımı güçlendirme ve sağlık hizmetlerinde eşitliği destekleme potansiyeline sahiptir (Panda ve ark., 2022). Mobil telefonlar ve hasta izleme sistemleri gibi mSağlık teknolojileri, tıbbi ve cerrahi uygulamalarda eğitim, öğretim ve iletişim amaçlı olarak giderek daha sık kullanılmaktadır (Gadde & Yap, 2021). Literatür incelendiğinde cerrahi süreçlerde mobil uygulama kullanımının yüksek kullanıcı memnuniyeti sağladığını,

kullanılabilirlik açısından etkili bulunduğunu ve kullanıcılar tarafından hem faydalı hem de kabul edilebilir bir araç olarak değerlendirildiğini ortaya koymaktadır (Morte ve ark., 2021; Sousa & Turrini, 2019).

2.6. Total Diz Protezi Sonrası Mobil Sağlık Uygulamalarının Etkileri

Total diz protezi ve total kalça protezi, genel olarak başarılı sonuçlar veren ve klinik açıdan olumlu geri bildirimlerle değerlendirilen cerrahi işlemler arasında yer almaktadır. Ancak bu girişimler, hastalar açısından hem fiziksel hem de psikolojik yönden zorluklar barındırabilir. Günümüzde yaygınlaşan erken taburculuk uygulamaları ve hastanede kalış süresinin kısaltılması, bireylerin cerrahi sonrası döneme uyum sağlamaları için yeterli zamanı bulamamalarına neden olabilmektedir. Bu durum, bazı hastaların iyileşme sürecinde beklenen düzeye ulaşamamasına ve ağrı ya da işlevsel kısıtlılıklar yaşamaya devam etmesine yol açabilmektedir (Stauber ve ark., 2020).

Telerehabilitasyon, hastaların hastaneden taburcu olduktan sonraki rehabilitasyon sürecine sağlık profesyonellerinin uzaktan destek sağlayabildiği, çeşitli bilgi ve iletişim teknolojilerinin kullanıldığı bir rehabilitasyon yaklaşımıdır. Teknolojideki ilerlemeler sayesinde, mobil uygulamalar hem erişim kolaylığı hem de kullanım pratikliği nedeniyle telerehabilitasyon hizmetlerinin sunumunda giderek daha fazla tercih edilmektedir (Wang ve ark., 2023). Literatür incelendiğinde Özden ve Sarı'nın total diz protezi geçiren hastalarda mobil uygulama temelli rehabilitasyonun etkinliğini değerlendirdikleri meta-analiz, uygulama destekli telerehabilitasyonun geleneksel yöntemlere kıyasla fonksiyon, ağrı kontrolü ve eklem hareket açıklığı bakımından daha etkili sonuçlar sağladığını ortaya koymuştur. Çalışma ayrıca mobil uygulama tabanlı rehabilitasyonun hasta memnuniyeti ve tedaviye uyum açısından da dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır (Özden & Sarı, 2023). Benzer şekilde Wang ve ark.'nın yürüttüğü çalışmada, total kalça veya diz protezi sonrasında mobil uygulama destekli rehabilitasyon programının etkileri incelenmiştir. Bulgular bu tür dijital uygulamaların hastaların öz yeterlilik düzeyleri, bireysel olarak bildirilen fiziksel fonksiyonları, sağlıkla ilişkili yaşam kaliteleri ile anksiyete ve depresyon belirtileri üzerinde olumlu etkiler oluşturduğunu göstermiştir (Wang ve ark., 2023).Yapılan başka bir sistematik derleme ve meta-analiz sonucunda mobil uygulamaların total eklem protezi geçiren hastalarda memnuniyet düzeyini artırabileceği, perioperatif protokollere uyumu geliştirebileceği ve uygulandığı çalışmalarda hasta katılımını olumlu yönde etkileyebileceği belirtilmiştir (Monárrez ve ark., 2023). 2024 yılında gerçekleştirilen diğer bir çalışmada, total diz protezi sonrası hemşire liderliğinde yürütülen uygulama temelli ev egzersiz programının hasta sonuçları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Deney grubunda kontrol grubuna kıyasla ağrı şiddetinde anlamlı bir azalma, eklem hareket açıklığında sınırlı bir iyileşme, egzersize yönelik öz yeterlilik düzeyinde ve yaşam kalitesinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca hemşirelik bakımına yönelik memnuniyet düzeyi daha yüksek bulunmuştur (Bak & Uhm, 2024). Tüm bu çalışmalar, mobil sağlık uygulamalarının total diz protezi sonrası iyileşme sürecinde olumlu katkılar sunduğunu

ortaya koymaktadır.
Bu bulgular doğrultusunda mobil sağlık teknolojilerinin total diz protezi sonrası bakım protokollerine entegre edilmesi; hasta memnuniyetini, tedaviye uyumu ve klinik başarıyı artırma potansiyeli taşıyan etkili bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir.

3. SONUÇ

Total diz protezi sonrası dönemde hastaların iyileşme sürecinde karşılaştığı fiziksel ve psikolojik zorluklar; ağrı yönetimi, hareket kabiliyeti, fonksiyonel bağımsızlık ve yaşam kalitesinin korunması gibi birçok faktörle yakından ilişkilidir. Bu süreçte mobil sağlık uygulamalarının kullanımı hem hasta takibinde hem de ev tabanlı rehabilitasyonun devamlılığında önemli katkılar sunmaktadır. Yapılan çalışmalar, mobil uygulamaların özellikle ağrı düzeyinin azaltılması, eklem hareket açıklığının korunması, egzersiz uyumunun artırılması ve tedavi sürecine hasta katılımının desteklenmesi gibi sonuçlar açısından etkili olduğunu ortaya koymuştur. Buna ek olarak hemşire liderliğinde yürütülen dijital tabanlı programların sadece fiziksel iyileşmeyi desteklemekle kalmayıp aynı zamanda hasta memnuniyetini artıran ve bireyselleştirilmiş bakım uygulamalarını güçlendiren bir araç olarak da öne çıktığı görülmektedir. Mobil sağlık teknolojilerinin bakım süreçlerine entegre edilerek hasta merkezli bir rehabilitasyon modeli oluşturulmasına katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

Literatürde yer alan bulgular ve güncel klinik uygulamalar dikkate alındığında mobil sağlık uygulamalarının total diz protezi sonrası rehabilitasyon süreçlerinde tamamlayıcı bir araç olarak kullanımının giderek daha fazla önem kazandığı görülmektedir. Bu uygulamalar; hasta eğitimi, evde egzersiz uygulamaları, semptom takibi ve sağlık profesyonelleriyle iletişim gibi birçok alanı kapsamaktadır. Mobil sağlık uygulamaları hastaların tedavi sürecine daha etkin katılım göstermelerini teşvik etmekte ve hemşirelik bakımının kapsamını artırmaktadır. Bu bağlamda total diz protezi sonrası mobil uygulama kullanımının yalnızca kısa vadeli sonuçlara değil, uzun vadeli fonksiyonel iyileşme ve yaşam kalitesi hedeflerine de katkı sunduğu söylenebilir. Dijital sağlık uygulamalarının etkisinin daha net anlaşılabilmesi için, gelecekte farklı uygulamaların karşılaştırıldığı kapsamlı araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

Altıntaş, F., Uluçay, Ç., & Kılınçoğlu, V. Total diz artroplastisinin endikasyonları, kontrendikasyonları ve komplikasyonları, *Türkiye Klinikleri Orthopaedics and Traumatology–Special Topics*, 2, 1, 2009, 55–62.

Bak, S. Y., & Uhm, J. Y. A Nurse-Led App-Based Home Exercise Program After Total Knee Arthroplasty: A Quasi-Experimental Study, *Rehabilitation Nursing Journal*, 49, 4, 2024, 103–114.

Basa, C. D. Total diz protezi komplikasyonlarının epidemiyolojisi ve sınıflaması, *TOTBİD Dergisi*, 18, 2019, 102–107.

Bilik, Ö. Total diz protezi ameliyatı uygulanan hastaların ameliyat öncesi ve sonrası hemşirelik bakımı, *Türkiye Klinikleri Cerrahi Hemşireliği–Special Topics*, 3, 2017, 54–64.

Bontempi, M., Cardinale, U., Bragonzoni, L., Macchiarola, L., Grassi, A., Signorelli, C., ... & Zaffagnini, S. Total knee replacement: intraoperative and postoperative kinematic assessment, *Acta Bio Medica: Atenei Parmensis*, Suppl 2, 88, 2017, 32.

Dooley, P., & Secretan, C. Total knee replacement: Understanding patient-related factors, *BCMJ*, 58, 9, 2016, 514–519.

Gadde, N. S., & Yap, K. Y. L. Mobile health apps that act as surgical preparatory guides: app store search and quality evaluation, *JMIR Perioperative Medicine*, 4, 2, 2021, e27037.

Healy, W. L., Della Valle, C. J., Iorio, R., Berend, K. R., Cushner, F. D., Dalury, D. F., & Lonner, J. H. Complications of total knee arthroplasty: standardized list and definitions of the Knee Society, *Clinical Orthopaedics and Related Research®*, 471, 2013, 215–220.

Kaya, Ç., & Bilik, Ö. Total diz protezi ameliyatı planlanan bireylere neden danışmanlık verilmeli?, *Hemşirelik Bilimi Dergisi*, 3(1), 2020, 25–30.

Kuzuca, B. C., & Güçlü, B. Total diz artroplastisi öncesi planlama, *TOTBİD*, 20, 2021, 507–514.

Monárrez, R., Mohamadi, A., Drew, J. M., & Abdeen, A. Mobile application's effect on patient satisfaction and compliance in total joint arthroplasty: a systematic review and meta-analysis, *JAAOS Global Research & Reviews*, 7, 9, 2023, e22.

Morte, K., Marenco, C., Lammers, D., Bingham, J., Sohn, V., & Eckert, M. Utilization of mobile application improves perioperative education and patient satisfaction in general surgery patients, *The American Journal of Surgery*, 221, 4, 2021, 788–792.

Nurse Together. (2023). *Knee replacement nursing diagnosis & care plan*. Erişim adresi: https://www.nursetogether.com/knee-replacement-nursing-diagnosis-care-plan/ (Erişim tarihi: 14.06.2025)

Nussbaum, R., Kelly, C., Quinby, E., Mac, A., Parmanto, B., & Dicianno, B. E. Systematic review of mobile health applications in rehabilitation, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 100, 1, 2019, 115–127.

Okolo, C. A., Babawarun, O., Arowoogun, J. O., Adeniyi, A. O., & Chidi, R. The role of mobile health applications in improving patient engagement and health outcomes: A critical review, *International Journal of Science and Research Archive*, 11, 1, 2024, 2566–2574.

Özden, F., & Sarı, Z. The effect of mobile application-based rehabilitation in patients with total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis, *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 113, 2023, 105058.

Panda, N., Perez, N., Tsangaris, E., Edelen, M., Pusic, A., Zheng, F., & Haynes, A. B. Enhancing patient-centered surgical care with mobile health technology, *Journal of Surgical Research*, 274, 2022, 178–184.

Savcı, A., & Bilik, Ö. Hemşirelik bakımı ile modelin buluşması: total diz protezi uygulanan hastalarda Roy uyum modeline göre yapılandırılmış sürekli bakım, *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 8, 2, 2015, 145–154.

Stauber, A., Schüßler, N., Palmdorf, S., Schürholz, N., Bruns, D., Osterbrink, J., & Nestler, N. RECOVER-E – a mobile app for patients undergoing total knee or hip replacement: study protocol, *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21, 2020, 1–10.

Sousa, C. S., & Turrini, R. N. T. Development of an educational mobile application for patients submitted to orthognathic surgery, *Revista Latinoamericana de Enfermagem*, 27, 2019.

Timmers, T., Janssen, L., Pronk, Y., van der Zwaard, B. C., Koëter, S., van Oostveen, D., ... & van der Weegen, W. Assessing the efficacy of an educational smartphone or tablet app with subdivided and interactive content to increase patients' medical knowledge: randomized controlled trial, *JMIR mHealth and uHealth*, 6, 12, 2018, e10742.

Wang, Q., Hunter, S., Lee, R. L. T., & Chan, S. W. C. The effectiveness of a mobile application-based programme for rehabilitation after total hip or knee arthroplasty: a randomised controlled trial, *International Journal of Nursing Studies*, 140, 2023, 104455.

KONYA PROVINCE DROUGHT ANALYSIS WITH WAVELET-BASED MACHINE LEARNING MODELS

Gülsün YILDIRIM

Isparta Applied Sciences University, Technology Faculty,

gulsunyildirim98@gmail.com- 0000-0002-9907-918X

Prof. Dr. Özlem TERZİ

Isparta Applied Sciences University, Technology Faculty,

ozlemterzi@isparta.edu.tr – 0000-0001-6429-5176

ABSTRACT

Drought, one of the most common and slowly developing natural disasters, increases in frequency and severity with climate change; it creates serious effects on water resources, negatively affects agricultural activities and disrupts ecosystem balance. In this study, it is aimed to perform drought analysis and increase forecast accuracy in Konya province, which has semi-arid climate characteristics. For this purpose, monthly precipitation, temperature and relative humidity data belonging to Cihanbeyli, Konya Airport and Ilgın meteorological stations for the period 1985–2021 were used. Using potential evapotranspiration (PET) values calculated from temperature data and monthly total precipitation data, the reconnaissance drought index (RDI) was calculated for the 12-month period. In the first stage, precipitation and humidity data were used directly as inputs and RDI estimation models were created with various machine learning (ML) algorithms. In the second stage, discrete wavelet transform was applied to these meteorological inputs, and the sub-series separated into their components were given as inputs to the ML models and wavelet-machine learning (W-ML) models were developed. When the model performances were evaluated comparatively, it was observed that W-ML models captured the frequency-based features in the time series better and thus provided higher accuracy in RDI estimation compared to traditional ML models. These findings reveal that machine learning approaches enriched with wavelet analysis offer significant advantages in modeling multi-scale and complex processes such as drought.

Keywords: Drought, Reconnaissance drought index, Wavelet transform, Machine learning.

1. INTRODUCTION

Drought is a natural event that causes serious hydrological imbalances in systems dependent on natural resources as a result of prolonged rainfall deficiency. Due to its slow-developing structure,

the uncertainty of its spatial boundaries, and the inability to clearly define its beginning and end times, drought is considered one of the most complex natural disasters worldwide. With the effects of climate change becoming increasingly evident, drought has become a more critical problem on a global scale that needs to be monitored carefully (Abu Arra et al., 2025; Gironas and Nunez, 2025). In order to monitor and manage this problem, it is of great importance to correctly define and quantitatively assess drought. Due to the multidimensional and complex nature of drought, various drought indices have been developed to identify and monitor different types of drought events. In the assessment of meteorological drought, the reconnaissance drought index (RDI), which is based not only on precipitation data but also on potential evapotranspiration (PET) values, is frequently preferred due to its comprehensive information. Advanced mathematical and statistical methods that can be used in drought analyses contribute to making this process more accurate and reliable. Wavelet transform analysis, which is widely used in research in the field of hydrology and water resources, is a mathematical method that offers powerful analysis opportunities in the time-frequency dimension in examining non-stationary time series (Adamowski and Chan, 2011). In recent years, the use of this method in the literature has increased significantly, especially due to its success in determining the temporal patterns of complex hydrological processes and water quality changes (Houenafa et al., 2025; Oteng Mensah et al., 2024; Sezen and Sraj, 2024; Sharma et al., 2024; Ziya and Hınıs, 2024). Various studies in the literature reveal the advantages of wavelet transform in modeling hydrological processes. For example, Kang and Lin (2007) They applied wavelet analysis to hydrological variables such as precipitation, stream flow and groundwater level in the WE-38 basin in Pennsylvania and examined these data at different time scales of 1, 3 and 15 years. As a result of the study, it was shown that wavelet transform is an effective method for analyzing non-stationary hydrological time series at different time scales. Similarly, Nourani et al., (2015) examined the trends of monthly, seasonal and annual data obtained from precipitation and stream flow stations in Tampa Bay with the Mann-Kendall (MK) test and wavelet transform analysis. As a result of the analyses, it was determined that integrating the wavelet transform into the MK test significantly increased the accuracy of the trend analyses. Moreover, Liu et al., (2011) wavelet transform analysis was performed using Haar and Morlet wavelets to investigate the rainfall-runoff transformation relationship in the Bayinbluk basin in China. The analysis results showed that wavelet transform is an effective method to reveal the nonlinear relationships between the temporal and spatial responses of rainfall and runoff. This method is used not only to improve hydrological processes but also drought analysis. Başakın et al., (2019) they analyzed the drought situation in Kayseri province using the Palmer Drought Severity Index and developed estimation models using support vector machines and k-nearest neighbor algorithms. In order to increase the model performance, wavelet transform analysis was integrated into ML algorithms and thus hybrid models were created. As a result of the study, it was determined that hybrid models gave more successful results in drought estimation compared to classical models.

In light of all these studies, this study focuses on drought analysis in Konya province, which is located in the semiarid region of Turkey. In this study, RDI values were calculated for drought

estimation and estimation models were developed with various ML algorithms. Then, it was aimed to improve the performance of ML models by using wavelet transform analysis, one of the data preprocessing techniques.

2. STUDY AREA AND DATA

Konya province is located between 36° 22′ and 39° 08′ north latitudes and 31° 14′ and 34° 05′ east longitude, and is located in the center of the Central Anatolia Region. Located at an altitude of 1.016 meters above sea level, the province has the distinction of being the largest province in Türkiye with a surface area of approximately 38.873 km² excluding lakes (Figure 1).

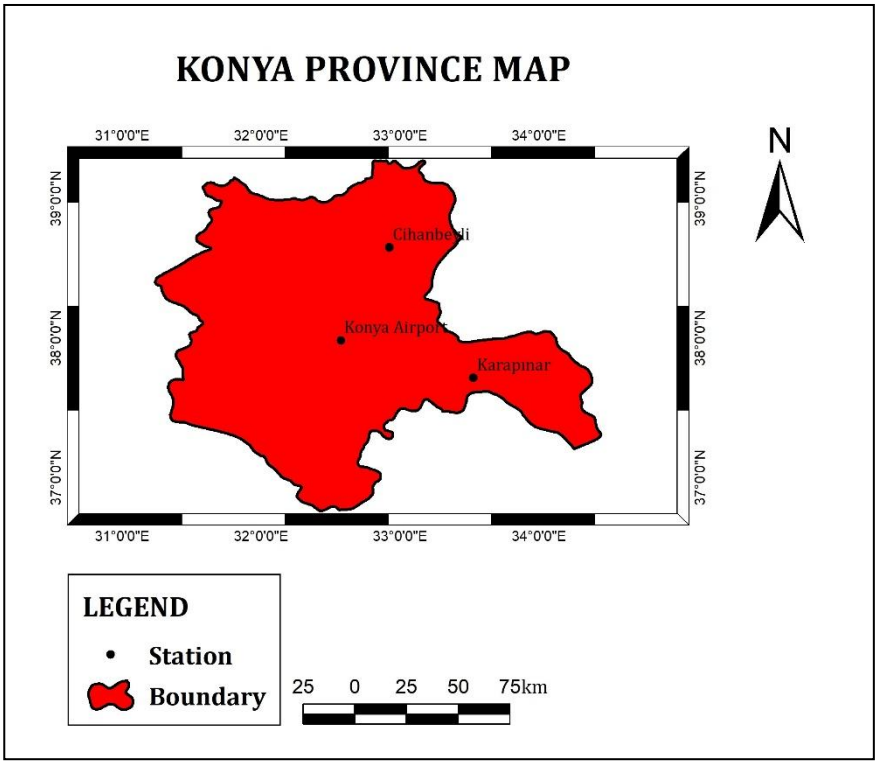


Figure 1. Study area

The streams in the region are generally short-distance, have seasonal flow and irregular regime. This situation is due to the closed basin structure of the region and the irregularity of rainfall (T.C. Ministry of Culture and Tourism). In Konya, summer is hot and dry, while winter is cold and rainy. While the day-night temperature difference varies between 16-22°C in summer, this difference drops to 9-12°C in winter and spring. Temperature values recorded for many years vary between −29°C and +41°C. The coldest month is January, the hottest month is July, and the heaviest snowfall is observed in February (Table 1) Karaman et al., 2022).

In this study, monthly total precipitation, temperature and humidity data for Cihanbeyli, Konya Airport and Ilgın meteorological stations between 1985 and 2021 were obtained from the General Directorate of State Meteorological Services. The geographical location information, data range

and basic climatic statistics of these three meteorological stations are summarized in Table 1. These stations were selected to represent different regions of Konya province, namely Cihanbeyli, Konya Airport and Ilgın. The minimum, average and maximum levels of monthly precipitation and temperature values are indicated for each station.

Table 1. Statistical information of the meteorological stations used in the study

Station No/ Name	Latitude Longitude	Precipitation (mm)			Temperature(°C)			Humidity (%)		
		Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.	Min.	Avg.	Max.
17191 Cihanbeyli	38°39′ 02.1″ 32°55′ 18.7″	0.1	27.8	153.7	-7.0	11.81	28.4	14.3	60.73	100.0
17244 Konya Airport	37°59′ 01.3″ 32°34′ 26.4″	0.0	27.2	124.0	-8.0	11.84	27.7	11.3	59.29	100.0
17832 Ilgın	38°16′ 34.7″ 31°53′ 38.4″	0.0	36.6	203.9	-7.1	11.34	25.8	14.8	63.33	99.5

3. RECONNAISSANCE DROUGHT INDEX

RDI was first developed by Tsakiris and Vangelis (2005) to monitor agricultural and meteorological drought conditions. The RDI is obtained through a calculation process consisting of three stages. In the first stage of the RDI calculation, the value of the basic component of the index is obtained. This value is calculated by Equation (3.1) using consecutive monthly precipitation and PET data for each year.

$$a_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{k} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{k} PET_{ij}} \qquad i = 1,2,\dots,N \qquad j = 1,2,\dots,k \tag{3.1}$$

Here, P_{ij} and PET_{ij}, represent the precipitation and potential evapotranspiration values of the j. month of the i. year, respectively. $k=1$ represents October, $k=12$ represents September. N represents the total number of years in the data set.

In the second stage, the normalized RDI (RDI_n) is calculated using the obtained values. This process is carried out with Equation (3.2) using the arithmetic average of the values of all years:

$$RDI_n(k) = \frac{a_k}{\overline{a_k}} - 1 \tag{3.2}$$

In the third and final stage, the standardized RDI (RDI_{std}) is obtained. In this stage, the y_k series is created by taking the natural logarithm of the α_k values. Then, the standardization process is

completed with the help of Equation (3.3) using the arithmetic mean ($\overline{y_k}$) and standard deviation (σ_{y_k}) of this series (Tsakiris et al., 2007; Yılmaz, 2023):

$$RDI_{std}(k) = \frac{y_k - \overline{y_k}}{\sigma_k} \quad (3.3)$$

4. WAVELET TRANSFORM ANALYSIS

Wavelet transform analysis is a time-frequency analysis method developed by geophysicist Jean Morlet (1981). The basic building block in this method, the "wavelet", is a mathematical function with a finite period and an average value of zero. In order for a function to be considered a wavelet, it must oscillate in both positive and negative directions on the amplitude axis and these oscillations must end by fading to zero as time progresses. In contrast, classical wave functions such as sine and cosine oscillate continuously on the amplitude axis and have infinite duration. Therefore, the concepts of wave and wavelet have different structural features (Altay, 2010). In wavelet transform analysis, various wavelet functions are used that allow data separation at different resolution levels. These functions are selected according to the purpose of analysis and the structure of the data. Example wavelet functions used in the study are given in Figure 2.

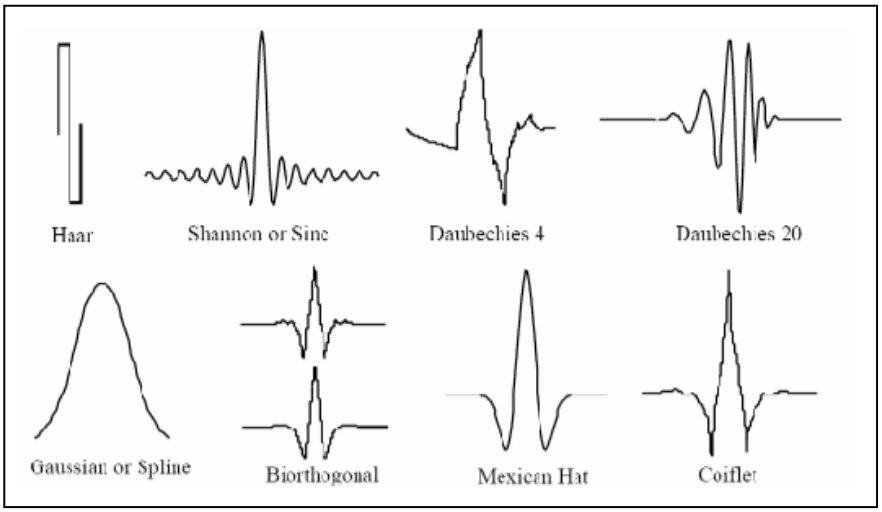


Figure 2. Wavelet shapes (Öner et al., 2017)

5. MACHINE LEARNING (ML)

ML is an artificial intelligence approach that mimics the learning process of the human brain, improving its accuracy based on experience through data and algorithms. ML is trained on data using statistical methods, algorithms, and predictive analysis. At the end of this training process, a model is obtained that can make estimations against new data (Çubukçu et al., 2022). ML algorithms are successfully used in a wide range of fields, including healthcare, transportation, speech recognition, computer vision, market analysis, and life sciences (Aytaç, 2021). ML

algorithms are divided into four basic categories: supervised learning, semi-supervised learning, unsupervised learning, and reinforcement learning. The datasets used in supervised learning contain both input features and usually target features (labels) for each example. Therefore, such datasets are called “labeled datasets”. The aim is for the model trained with these labeled data to predict the correct target values against new input examples. The semi-supervised learning approach aims to carry out the learning process by using both labeled and unlabeled data together in cases where the amount of labeled data is limited (Turan and Polat, 2024). Unsupervised learning has been widely used in recent years with increasing interest. In this method, label information is not needed; the main purpose is to discover structural patterns and distribution characteristics in the dataset (Aytaç, 2021). Reinforcement learning is a method in which the learning agent develops decision-making strategies based on the reward or punishment it receives as a result of its interaction with the environment. In this approach, labeled data is not required and the model learns the decisions that will provide the highest reward over time (Demircioğlu, 2024). In this study, modeling was performed using nine different machine learning algorithms.

The k-nearest neighbor (K-NN) algorithm is a nonparametric method in which the estimation is made based on the nearest neighbor observations in classification or regression operations (Başakın et al., 2019). **The linear regression (LR)** algorithm aims to estimate the relationship between a dependent variable and one or more independent variables through a linear equation (Yüksel, 2024). **The ridge regression (Ridge)** is a method developed to reduce bias caused by high correlation between variables in multiple linear regression. It aims to reduce the estimation variance and produce more stable results by adding a penalty term to the model (Yağmur and Yağmur, 2022). **The decision tree (DT)** algorithm is a heuristic approach that performs classification or regression by subdividing data through internal nodes. Leaf nodes represent the results (Özdemir et al., 2025). **AdaBoost (AB)** is a boosting algorithm that builds a strong ensemble model by successively combining many weak classifiers. Each classifier is weighted according to its accuracy, and incorrect classifications are taken into further consideration in the next stage (Shibina and Thasleema, 2005). **Random forest (RF)** is an algorithm resistant to overfitting in which many decision trees are constructed by training with random variables and data subsets (Akar and Güngör, 2012). **The extra tree (ET)** algorithm is a variant of the random forest algorithm. The split points in the decision tree are determined completely randomly, providing more diversity and generalizability in the model (Yousefi et al., 2024). **Gradient boosting (GB)** algorithm is a boosting method that gradually builds a stronger estimation model by training successive weak learners to minimize the errors of previous models. **The extreme gradient boosting (XGB)** algorithm is an advanced version of the gradient boosting algorithm. It is optimized to reduce over-learning, speed up modeling time, and deal with missing data more effectively (Alpay, 2024).

6. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the drought situation in Konya province, one of the semiarid regions of Turkey, was analyzed with the RDI based on a 12-month time period. In this context, monthly total precipitation,

temperature and humidity data from Cihanbeyli, Konya Airport and Ilgın meteorological stations between 1985 and 2021 were used. RDI calculations were performed using PET values calculated based on temperature data and precipitation data.

For drought prediction, separate models were developed for each meteorological station using ML algorithms. In these models, precipitation and humidity data were used as input variables, and the calculated RDI values were used as output variables. Coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RME) criteria were used to evaluate the performance of the models in both training and test sets. In Table 2, station-based performance comparisons of the models developed with ML algorithms are presented in detail.

Table 2. Performance values of ML models

Stations	**Algorithms**	**Training set**		**Test set**	
		R^2	**RMSE**	**R^2**	**RMSE**
Cihanbeyli	KNN	0.27	0.87	-0.17	1.03
	LR	0.07	0.97	0.03	0.94
	Ridge	0.07	0.97	0.03	0.94
	DT	1.00	0.06	-1.75	1.59
	AB	0.15	0.93	-0.09	1.00
	RF	0.85	0.39	-0.42	1.14
	ET	1.00	0.06	-0.59	1.21
	GB	0.60	0.64	-0.26	1.07
	XGB	0.99	0.11	-0.59	1.21
Konya Airport	KNN	0.26	0.87	-0.15	1.01
	LR	0.07	0.97	-0.01	0.95
	Ridge	0.07	0.97	-0.01	0.95
	DT	1.00	0.00	-0.77	1.26
	AB	0.15	0.93	0.02	0.93
	RF	0.85	0.39	-0.08	0.98
	ET	1.00	0.00	-0.14	1.01
	GB	0.55	0.67	-0.14	1.00
	XGB	0.99	0.08	-0.23	1.05
Ilgın	KNN	0.27	0.86	-0.16	0.98
	LR	0.07	0.98	0.05	0.89
	Ridge	0.07	0.98	0.05	0.89
	DT	1.00	0.00	-0.78	1.22
	AB	0.15	0.93	0.05	0.89

	RF	0.85	0.39	-0.18	0.99
	ET	1.00	0.00	-0.19	1.00
	GB	0.57	0.66	-0.12	0.97
	XGB	0.99	0.08	-0.74	1.21

When Table 2 is examined, it is seen that the DT, ET and XGB algorithms developed for the 12-month period showed very high performance on the training set, and the R^2 values in these algorithms were 1.00 or very close to 1.00. However, the R^2 values of the same models on the test set were significantly lower. This shows that the models were overly adapted to the training data, but their generalization ability on new data remained weak. In this context, the results obtained indicate the problem of over-learning.

In order to overcome this problem, wavelet transform is applied to the precipitation and humidity data, which are the input parameters of the model. In particular, the time series is decomposed into subcomponents using the Daubechies Meyer (dmey) wavelet and the correlation values of each subseries with the RDI are presented in Table 3.

Table 3. Correlations coefficients of sub-series with RDI

Parameters	**Stations**	**d1**	**d2**	**d3**	**d4**	**d5**	**d6**	**d7**	**d8**
Precipitation	Cihanbeyli	0.09	0.02	0.03	-0.03	0.45	0.31	0.27	0.09
	Konya airport	0.09	0.03	0.01	-0.07	0.42	0.50	0.31	0.17
	Ilgın	0.11	0.03	0.02	-0.11	0.43	0.31	0.18	0.33
Humidity	Cihanbeyli	0.08	0.02	-0.01	0.09	0.37	0.27	-0.02	0.05
	Konya airport	0.06	0.01	-0.01	0.04	0.45	-0.02	-0.22	0.11
	Ilgın	0.05	0.02	0.03	0.01	0.21	0.15	-0.04	0.01

According to the correlation values given in Table 3, the sub-series with the highest correlation values for each station were determined and used as model input data. For Cihanbeyli station, d5-d6-d7 sub-series in precipitation parameter and d5-d6 sub-series in humidity parameter; for Konya airport station, d5-d6-d7 sub-series in precipitation parameter and d5 sub-series in humidity parameter; for Ilgın station, d5-d6-d8 sub-series in precipitation parameter and d5 sub-series in humidity parameter were selected as the components with the highest correlation and wavelet-based machine learning (W-ML) models were created using these sub-series. The performance values of these hybrid models obtained are presented in Table 4.

Table 4. Performance values of W-ML models

Stations	Algorithms	Training set		Test set	
		R^2	RMSE	R^2	RMSE
Cihanbeyli	KNN	0.77	0.49	0.57	0.62
	LR	0.39	0.79	0.30	0.80
	Ridge	0.39	0.79	0.30	0.80
	DT	1.00	0.00	0.38	0.75
	AB	0.71	0.55	0.53	0.65
	RF	0.97	0.17	0.79	0.44
	ET	1.00	0.00	0.83	0.39
	GB	0.93	0.27	0.76	0.47
	XGB	1.00	0.01	0.79	0.43
Konya Airport	KNN	0.79	0.47	0.57	0.62
	LR	0.50	0.71	0.46	0.69
	Ridge	0.50	0.71	0.46	0.69
	DT	1.00	0.00	0.52	0.66
	AB	0.75	0.51	0.65	0.56
	RF	0.97	0.17	0.81	0.41
	ET	1.00	0.00	0.85	0.37
	GB	0.93	0.27	0.78	0.44
	XGB	1.00	0.01	0.83	0.39
Ilgın	KNN	0.77	0.49	0.55	0.61
	LR	0.41	0.78	0.37	0.73
	Ridge	0.41	0.78	0.37	0.73
	DT	1.00	0.00	0.69	0.51
	AB	0.74	0.52	0.64	0.55
	RF	0.97	0.17	0.82	0.39
	ET	1.00	0.00	0.87	0.32
	GB	0.93	0.28	0.80	0.41
	XGB	1.00	0.01	0.82	0.39

When Table 4 is examined, it is seen that the ET algorithm exhibits the most successful performance in the test set for all three stations. This model has demonstrated higher accuracy and strong generalization ability compared to other algorithms in terms of both R^2 and RMSE. In addition, it is seen that the RF, GB and XGBoost algorithms also give satisfactory results across all stations. These algorithms support the success of the W-ML structure with lower error and more stable R^2 values compared to classical ML models.

When the results presented in Tables 2 and 4 are compared, it is clearly seen that W-ML models exhibit higher performance in drought estimation compared to classical ML models. The

significant increase in R^2 values and decrease in RMSE values in the test set in W-ML models indicate that both the accuracy and generalization ability of these models have increased. In particular, it can be said that over-learning problems are largely eliminated in W-ML models and the models can produce more reliable estimation values on the test data.

Among all the machine learning (ML) models developed in this study, the Extra Trees (ET) algorithm was found to yield the most successful results across all stations in terms of test set performance. To visualize this outcome, scatter plots illustrating the estimation performance of the ET-based models on the test dataset are presented in Figures 3, 4, and 5.

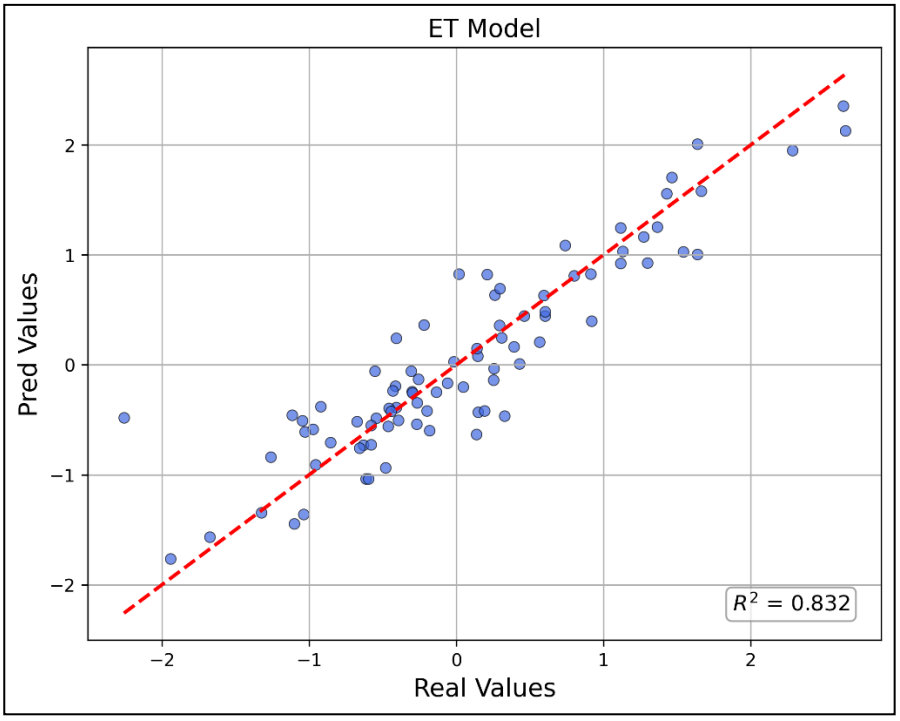


Figure 3. Scatter plot for Cihanbeyli station

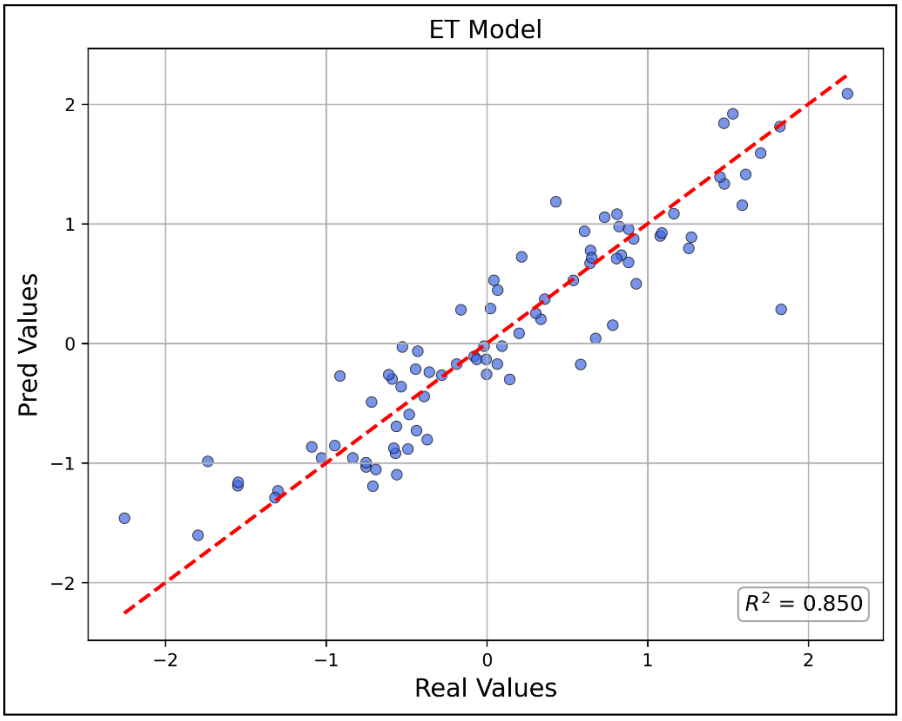


Figure 4. Scatter plot for Konya airport station

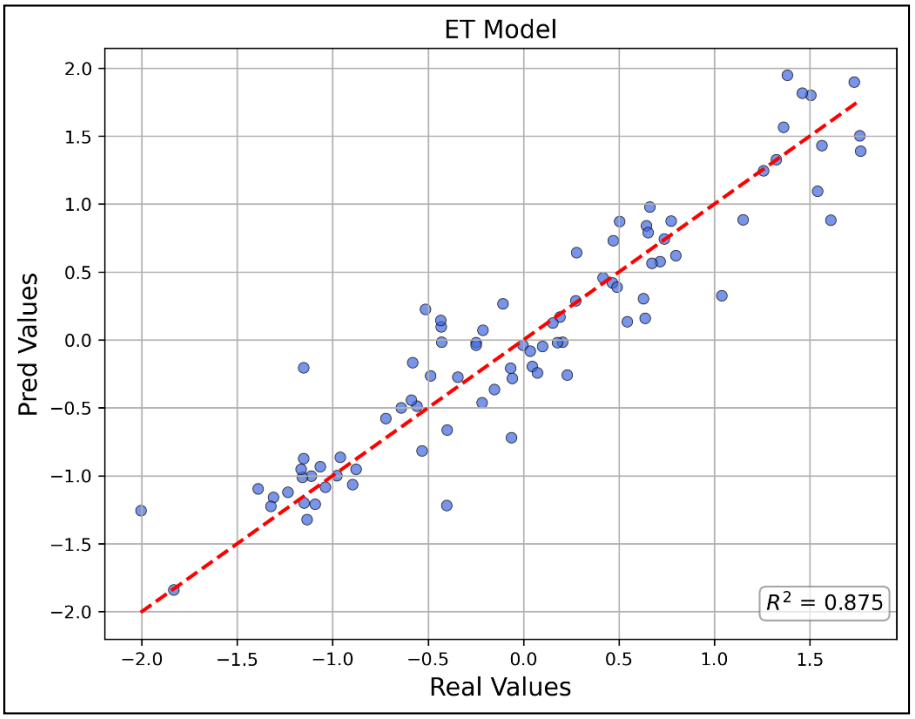


Figure 5. Scatter plot for Ilgın station

The proximity of the predicted values to the 45° reference line in these scatter plots serves as a key indicator of the model's accuracy and generalization capability. As observed in Figures 3, 4, and

5, the predicted values are predominantly clustered around the reference line, indicating that the ET algorithm is capable of producing highly accurate estimation values and demonstrates a consistent generalization performance across all stations. Furthermore, the R^2 values obtained from the test set—0.832, 0.850, and 0.875 for the respective stations—support the conclusion that the model generalizes well not only to the training data but also to previously unseen test data. These findings are also in agreement with the quantitative performance metrics presented in Table 5.

7. CONCLUSIONS

In this study, the drought situation in Konya province, one of the driest regions of Turkey, was analyzed using the RDI. In the analysis process, monthly total precipitation and PET data belonging to Cihanbeyli, Konya Airport and Ilgın stations between 1985-2021 were used. Models were developed with various ML algorithms by using precipitation and humidity data as inputs and RDI as output variables for drought estimation. However, low and even negative R^2 values were observed in classical ML models, especially in the test set, and it was determined that some models overfitted the training data. This situation brought the overlearning problem to the agenda in the models. In order to overcome this problem and increase model performance, W-ML models were developed by applying wavelet transform to precipitation and humidity data. The obtained W-ML models produced much more successful estimation results compared to classical ML models with higher R^2 and lower RMSE values in the test set. As a result, wavelet transform analysis significantly increases model success and generalization ability in modeling complex natural events such as drought by separating the structural patterns of non-stationary hydrological processes more effectively.

REFERENCES

1. Abu Arra, A., Alashan, S. & Şişman, E. Advancing innovative trend analysis for drought classification frequencies for comprehensive insights. Natural Hazards, 1-25, 2025.
2. Adamowski, J. & Chan, H. F. A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. Journal of Hydrology, 407(1-4), 28-40, 2011.
3. Akar, Ö. & Güngör, O. Classification of multispectral images using random forest algorithm. Journal of Geodesy and Geoinformation, (106), 139-146, 2012.
4. Altay, Ö. *Evaluation of Signals Acquired From High-Voltage Devices By Wavelet Analysis*, PhD Thesis, Istanbul Technical University, Institute of Science, Istanbul, 2010.
5. Alpay, O. Performance comparison of lasso and ridge regression and boosting algorithms for modeling rare events with multicollinearity. Sinop University Journal of Science, 9(1), 154-166, 2024.

6. Aytaç, E. An Alternative Approach in Defining the Similarity of Catchments: Application of Hierarchical Clustering Method. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering Sciences, 21, 958-970, 2021.

7. Başakın, E. E., Ekmekcioğlu, Ö. & Özger, M. Drought analysis with machine learning methods. Pamukkale University Journal of Engineering Sciences, 25(8), 985-991, 2019.

8. Çubukçu, E. A., Demir, V., Sevimli, M. F. Estimating streamflow data with machine learning techniques. Gazi Engineering Sciences Journal, 8(2), 257-272, 2022.

9. Demircioğlu, E. H. *Anomaly Detection in Industrial Control Systems*. PhD Thesis, Bursa Uludağ University, Institute of Science, Bursa, 2024.

10. Gironas, J. & Nunez, M. Definition and characterization of drought. Droughts in Chile, 11-26, 2025.

11. Houenafa, S. E., Johnson, O., Ronoh, E. K. & Moore, S. E. Hybridization of stochastic hydrological models and machine learning methods for improving rainfall-runoff modeling. Results in Engineering, 25, 104079, 2025.

12. Kang, S. & Lin, H. Wavelet analysis of hydrological and water quality signals in an agricultural watershed. Journal of Hydrology, 338(1-2), 2007.

13. Karaman, N., Aksoy, S., Cesur, F., Saygın, F. Determining the Effect of Urbanization on Agricultural Lands Using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques. Turkish Journal of Agricultural Research, 9(3), 385-394, 2022.

14. Liu, H. L., Bao, A.M., Chen, X., Wang, L. & Pan, X. L. Response analysis of rainfall-runoff processes using wavelet transform: A case study of the alpine meadow belt. Hydrological Processes, 25(14), 2179-2187, 2011.

15. Nourani, V., Nezamdoost, N., Samadi, M. & Daneshvar Vousoughi, F. Wavelet-based trend analysis of hydrological processes at different timesales. Journal of Water and Climate Change, 6(3), 414-435, 2015.

16. Oteng Mensah, F., Alo, C. A. & Ophori, D. Hydroclimatic trends and streamflow response to recent climate change: An application of discrete wavelet transform and hydrological modeling in the Passaic River Basin, New Jersey, USA. Hydrology, 11(4), 43, 2024.

17. Öner, İ. V., Yeşilyurt M. K., Yılmaz, E. Ç. Wavelet Analysis Techniques and Application Areas. Ordu University Science and Technology Journal, 7(1), 2017.

18. Özdemir, Ö., Karakütük, F. & Kaya Karakütük A. Classification Performance of Decision Tree Inducers in Data Mining on Likert Scale Data. Journal of Suleyman Demirel University Institute of Science, 29(1), 72-83, 2025.

19. Sezen, C. & Sraj, M. Improving the simulations of the hydrological model in the karst catchment by integrating the conceptual model with machine learning models. Science of the Total Environment, 926, 171684, 2024.

20. Sharma, D., Sharma, A., Panda, S. K., Babel, M. S. & Kumar, M. Wavelet analysis of rainfall and application of hydrological model in a semi-arid river basin of Rajasthan, India. Clean-Soil, Air, Water, 53(1), 2300223, 2024.

21. Shibina, V. & Thasleema, T. M. Voice feature-based diagnosis of Parkinson's disease using nature inspired squirrel search algorithm with ensemble learning classifiers. Iran Journal of Computer Science, 1-25, 2025.

22. T.C. Ministry of Culture and Tourism. https://konya.ktb.gov.tr/TR-370533/cografi-konum.html (Accessed: 13.05.2025)

23. Tsakiris, G., Pangalou, D., Vangelis, H. N. Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). Water Resources Management, 21, 821-833, 2007.

24. Tsakiris G., Vangelis, H. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. European Water, 9,10, 3-11, 2005.

25. Turan, A. K., Polat, H. Music Genre Detection Using Semi-Supervised Machine Learning. Gazi University Journal of Science, 12(1), 92-107, 2024.

26. Yağmur, E. & Yağmur, S. Feature Selection by Genetic Algorithm for Wind Power Prediction. Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering Sciences, 22, 1028-1040, 2022.

27. Yılmaz, M. U. Trend and Temporal Variability of Drought in Kirklareli Province Using Reconnaissance Drought Index and Standardized Precipitation Index. Journal of Natural Hazards and Environment, 9(2), 341-364, 2023.

28. Yousefi, M., Oskoei, V., Esmaeli, H. R. & Baziar, M. An innovative combination of extra trees within adaboost for accurate prediction of agricultural water quality indices. Results in Engineering, 24, 103534, 2024.

29. Yüksel, H. Linear Regression Analysis of Building Energy Efficiency Using Machine Learning Algorithms. Yekarum, 9(2), 108-127, 2024.

30. Ziya, U. & Hınıs, M. A. Estimation of Daily Stream Flow Data Using Support Vector Machines and Wavelet Transform Model. Karamanoğlu Mehmetbey University Journal of Engineering and Natural Sciences, 6(2), 18-32, 2024.

KÖPRÜÇAY İÇİN DERİN ÖĞRENME TEMELLİ AKIM TAHMİNİ:

LSTM VE VAE-GAN YAKLAŞIMLARI

Prof. Dr. Özlem TERZİ
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
ozlemterzi@isparta.edu.tr – 0000-0001-6429-5176
Prof. Dr. Emine Dilek TAYLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi
dilektaylan@sdu.edu.tr – 0000-0003-0734-1900

ÖZET

Akım tahmini, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından kritik bir bileşen olup; baraj işletme planlamasından taşkın ve kuraklık risk analizlerine, tarımsal sulama optimizasyonundan çevresel akım gereksinimlerinin belirlenmesine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Antalya Havzası'ndaki Köprüçay Nehri'ne ait 1941–2004 dönemine ait aylık akım verileri kullanılarak iki farklı derin öğrenme temelli zaman serisi tahmin modeli geliştirilmiştir: Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ağı ve Varyasyonel Otokodlayıcı ile entegre edilmiş Üretici Çekişmeli Ağ (VAE-GAN). Her iki model, geçmiş verilerle eğitilmiş ve gelecek 24 aya ait akım değerlerini üretmek üzere yapılandırılmıştır. Model performansları; istatistiksel tutarlılık, zaman bağımlılığı ve eğilim yapılarının korunması gibi ölçütler üzerinden değerlendirilmiştir. Üretilen serilere ait otokorelasyon fonksiyonu (ACF) analizleri, LSTM modelinin tarihsel serinin dinamik yapısını daha iyi yakaladığını göstermektedir. Ayrıca, her iki modelin çıktılarıyla elde edilen doğrusal eğilim çizgileri karşılaştırıldığında, LSTM modelinden elde edilen eğilim denkleminin tarihsel serinin eğilim denklemiyle yüksek oranda örtüştüğü belirlenmiştir. Bu sonuçlar, LSTM modelinin uzun vadeli bağımlılıkları öğrenme konusunda daha başarılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, VAE-GAN modeli olasılıksal yapı üretme potansiyeli açısından gelecek çalışmalar için umut vadeden bir alternatif olarak değerlendirilmiştir.Bu çalışma, Türkiye'de derin öğrenme tabanlı akım tahmini literatürüne katkı sağlamayı amaçlamakta ve özellikle veri kıtlığı yaşanan bölgelerde LSTM ve VAE-GAN modellerinin uygulanabilirliğini tartışmaya açmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akım tahmini, derin öğrenme, LSTM, VAE-GAN, hidrolojik modelleme

1. GİRİŞ

Hidrolojik zaman serilerinin doğru bir şekilde modellenmesi ve akım tahmini yapılması, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından kritik bir öneme sahiptir. Özellikle iklim değişikliğinin etkilerinin giderek daha belirgin hale geldiği günümüzde, taşkınların önlenmesi, kuraklık risklerinin azaltılması, tarımsal sulama planlaması ve ekolojik dengeyi korumaya yönelik çevresel akım gereksinimlerinin belirlenmesi gibi pek çok alanda güvenilir akım tahmini büyük bir gereklilik arz etmektedir. Ancak hidrolojik süreçlerin doğrusal olmayan, karmaşık ve zaman bağımlı yapısı, geleneksel istatistiksel ve fizik tabanlı modellerin öngörü kapasitesini sınırlamakta; bu da daha esnek ve güçlü modelleme yaklaşımlarına olan ihtiyacı artırmaktadır.

Son yıllarda derin öğrenme temelli modeller, özellikle uzun dönemli bağımlılıkları öğrenme ve karmaşık verilerdeki örüntüleri tanıma kabiliyetleri sayesinde hidrolojik tahmin çalışmalarında öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, zamana bağlı veri örüntülerini etkin biçimde işleyebilen Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) ağları ve olasılıksal örnek üretme yeteneğiyle dikkat çeken Varyasyonel Otokodlayıcı ile entegre edilmiş Üretici Çekişmeli Ağlar (VAE-GAN) gibi modellerin uygulanabilirliği üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır.

Niu vd. (2020), zaman serisi anomali tespiti için LSTM tabanlı VAE-GAN yöntemini kullanmışlardır. Geleneksel GAN tabanlı yaklaşımların, anomali tespiti sırasında hata ve zaman kaybına yol açabildiğini fakat LSTM tabanlı VAE-GAN yönteminin kodlayıcı, üretici ve ayrıştırıcının ayırt etme gücünden faydalanıldığını belirtmişlerdir. LSTM tabanlı VAE-GAN yönteminin anormallikleri hızlı ve doğru bir şekilde belirlediği sonucuna varmışlardır.

Zhang vd. (2022), VAE'nin kararlılığını ve GAN'ın yüksek görsel doğruluk yeteneğini birleştirerek delta simülasyonundaki üç ana soruna çözüm sunmayı amaçlamaktadır. Geliştirdikleri model, farklı aşamalarda eş zamanlı olarak hem VAE hem GAN yapısını çalıştırarak hem gerçekçi hem de çeşitli örnekler üretebilmekte, ayrıca modelin yeniden kullanımına olanak tanımaktadır. Yapılan karşılaştırmalı analizlerde, önerilen VAE-GAN yaklaşımı, geleneksel MPS (Multiple-Point Statistics, Çok Noktalı İstatistiksel Yöntemler) ve bazı derin öğrenme tabanlı yöntemlere kıyasla daha başarılı ve verimli sonuçlar elde etmiştir.

Bao vd., (2022) heterojen akiferlerde jeolojik yapıların belirlenmesi amacıyla, VAE ve GAN tabanlı modelleri, Çoklu Veri Asimilasyonu ile Ensemble Smoother (ES-MDA) yöntemiyle birleştirerek karşılaştırmışlardır. VAE ve GAN, hidrolik iletkenlik alanlarını düşük boyutlu gizli değişkenlerle yeniden tanımlamak için kullanırken, ES-MDA bu değişkenleri güncellemekte kullanılmışlardır. Sonuç olarak, GAN'ın daha gerçekçi yapılar üretebildiğini, VAE'nin ise jeolojik yapıların yerelleştirilmesinde daha başarılı olduğunu tespit etmişlerdir.

Gürlek ve Bilgili (2023) Sivas ilinin günlük ortalama güneş ışınımı değerlerini tahmin etmek için LSTM ağı temelli bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada, aylık güneş ışınımı verileri kullanılarak günlük ortalamaları tahmin etmişler ve modelin performansını ortalama mutlak yüzde hata (MAPE), kök ortalama kare hatası (RMSE) ve korelasyon katsayısı (R) gibi istatistiksel metotlarla değerlendirmişlerdir. LSTM modelinin güneş ışınımı tahmininde başarılı bir performans gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Jeong vd. (2023), makine öğrenmesine dayalı tahmin modellerinin güvenilirliğini artırmada çok değişkenli zaman serisi verileri için yeni bir veri düzeltme yöntemi önermiştir. Önerilen yöntemde, anormallik tespiti için LSTM tabanlı VAE-GAN modeli ve veri düzeltme süreci için ise attention mekanizmalı LSTM modeli kullanılmıştır. Secure Water Treatment (SWaT) veri seti üzerinde yapılan deneyler, bu yaklaşımın önceki düzeltme yöntemlerine kıyasla daha üstün performans sergilediğini ortaya koymuştur.

Ji vd., (2024) Malezya'daki Kelantan Nehri'ndeki 14 yağış istasyonundan elde edilen saatlik yağış verileri ile sel sıklığını GAN modeli ile araştırmışlardır. GAN modelinin ham verileri zamansal ve mekânsal dağılımını doğru bir şekilde temsil ederek yağış verilerini iyileştirdiğini ve mekânsal korelasyon modellerini iyi bir şekilde gösterdiğini tespit etmişlerdir. Böylelikle GAN modelinin sel sıklığının değerlendirilmesinde güvenilir olabileceği sonucuna varmışlardır.

Kordi-Karimabadi vd. (2025) İran'ın Nesa Nehri'nin 1978-2019 yılları arasındaki günlük akım verilerini kullanarak gelecek 20 yılın akış tahminini yapmak için LSTM kullanmışlardır. Model performansını belirleyicilik katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), RMSE, Nash-Sutcliffe verimliliği (NSE), Kling-Gupta verimliliği (KGE) ve ortalama önyargı hatası (MBE) ile değerlendirmişlerdir. Ayrıca taşkın tehlike haritaları hazırlamışlardır. Sonuç olarak LSTM yönteminin akış hızını tahmin edebileceğini ve sel olaylarını etkili yönetmek için uygun olabileceğini öngörmüşlerdir.

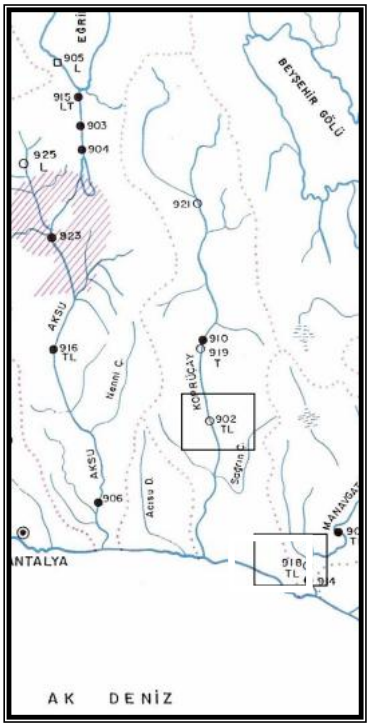
Bu çalışmada, Türkiye'nin güneybatısında yer alan ve doğal rejimi korunmuş olan Köprüçay Nehri'ne ait 1941–2003 dönemi aylık akım verileri kullanılarak, LSTM ve VAE-GAN tabanlı iki farklı derin öğrenme modeli geliştirilmiştir. Araştırmanın amacı, bu modellerin sentetik veri üretme ve uzun dönemli akım tahmini performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek; her bir modelin eğilim koruma, zaman bağımlılığı ve istatistiksel tutarlılık açısından başarısını ortaya koymaktır. Elde edilen bulgular, farklı amaçlara yönelik hidrolojik tahmin uygulamaları için uygun model seçiminde yol gösterici olmayı ve Türkiye'de bu alandaki literatüre katkı sağlamayı hedeflemektedir.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ

Çalışma alanı olarak seçilen Köprüçay nehri, Türkiye'nin güneybatısında, Akdeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, özellikle Isparta ve Antalya illeri arasında uzanır. Nehir havzasının koordinatları yaklaşık olarak 37.5° - 38.3° kuzey enlemleri ile 30.5° - 31.5° doğu boylamları arasındadır. Havza, kuzeyde Beyşehir ve Eğirdir Gölleri, batıda Aksu Havzası, doğuda Manavgat Havzası, güneyde ise Akdeniz ile çevrilidir (Görsel 1). Akarsuyun kaynağı, Isparta İli Aksu İlçesi'nin yaklaşık 7 km kuzeybatısında yer alan Anamas Dağları'nın güney eteklerinde, 1320 metre rakımda yer alan Başpınar Kaynağıdır. Bu kaynak, kuzeyinden gelen Sorgun Yaylası'ndaki sızıntı sularıyla birleşerek Kuzukulağı Deresi'ni oluşturur ve bu iki kolun birleşimiyle Köprüçay akarsuyu meydana gelir. Toplam uzunluğu yaklaşık 156 km olan Köprüçay, Serik'in doğusunda, Dipsiz Mevkii yakınlarından Akdeniz'e dökülür (Küçük, 1997).

Bölge, hidrolojik açıdan Akdeniz ikliminin etkisi altında olup, yazları kurak ve sıcak, kışları ise yağışlıdır. Kıyıya yakın alanlar ve vadi tabanlarında tipik Akdeniz iklimi hüküm sürerken, havzanın kuzey kesimindeki yüksek dağlık bölgelerde Akdeniz yüksek dağ iklimi etkili olmaktadır. İklimsel farklılıklar doğrultusunda, Serik'te yıllık ortalama sıcaklık 18 °C düzeyindeyken, Aksu'da bu değer 10.6 °C'ye kadar düşmektedir. Rüzgâr sistemleri ise havzanın baskın topografik yapısına paralel bir dağılım göstermektedir. Havzada Akdeniz yağış rejimi hâkim olup, en yoğun yağış kış aylarında gözlemlenmektedir. Serik'te yıllık ortalama yağış miktarı 1154.8 mm, Aksu'da ise 907.7 mm olarak ölçülmüştür (Sağdıç & Bozyiğit, 2009).

Köprüçay Nehri havzasında seçilen 9-02 numaralı Beşkonak akım gözlem istasyonuna ait akım verileri 1941yılından 2003 yılana kadar aylık ortalama akım değerleri olup, Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü arşivlerinden temin edilmiştir. Nehrin ortalama aylık akım debisi 88.2 m^3/s'dir. İstasyon seçimi sürecinde, ölçüm yapılan bölgede ve akarsu membasında herhangi bir insan kaynaklı müdahalenin bulunmamasına özen gösterilmiştir. Bu seçim kriteri sayesinde, akarsuyun doğal rejimini en iyi şekilde yansıtan ve modelleme çalışmalarında güvenilirlik sağlayan veri setleri ile çalışılmıştır.



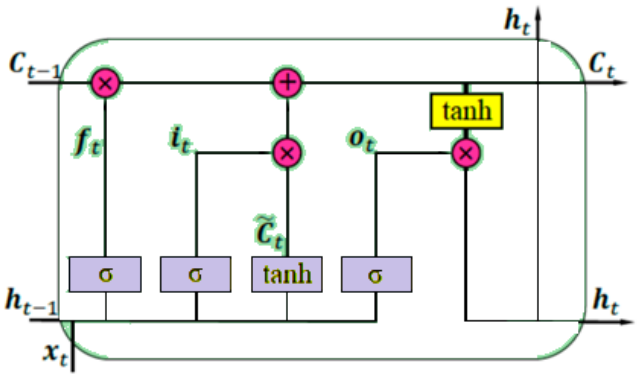
Görsel 1. Köprüçay Nehri ve Havzası

2. YÖNTEM

2.1. Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)

Hochreiter ve Schmidhuber (1997) tarafından geliştirilen LSTM mimarisi, uzun dönemli bağımlılıkları öğrenme kapasitesi sayesinde zaman serisi verileri üzerinde kullanıma uygun bir yapı olarak önerilmiştir. Bir yapay sinir ağı türü olan mimarisi, uzun vadeli bilgi taşıma ve unutma mekanizmalarını dengeleyen özel hücre yapıları ve kapı mekanizmalarına sahiptir.

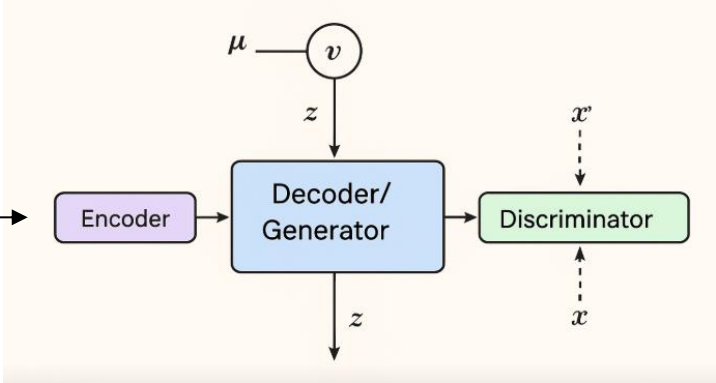
Görsel 2'de gösterildiği üzere LSTM hücresi üç temel kapıdan oluşmaktadır: giriş kapısı X_t, unutma kapısı C_t, ve çıkış kapısı h_t. Bu kapılar, bilgilerin hücre içerisinde nasıl işleneceğini ve aktarılacağını belirler. Girişte, önceki zaman adımına ait gizli durum bilgisi h_{t-1} ve mevcut giriş verisi X_t, sigmoid fonksiyonundan geçirilerek hangi bilgilerin hatırlanacağına veya güncelleneceğine karar verilir. Ardından, *Tanh* aktivasyon fonksiyonu ile veriler (-1, 1) aralığına dönüştürülür ve bu iki çıktının çarpımı, hücrenin yeni bilgiyle nasıl güncelleneceğini belirler. Çıkış kapısında ise, bir sonraki hücreye aktarılacak bilgi belirlenir. Burada hücre durumunu taşıyan Cell State, *Tanh* fonksiyonu ile dönüştürülürken, mevcut giriş bilgisi sigmoid fonksiyonundan geçirilir. Bu iki değer çarpılarak, ağın bir sonraki katmanına iletilecek bilgi üretilir (Poornima ve Pushpalatha, 2019).



Görsel 2. LSTM mimarisi (Poornima ve Pushpalatha, 2019)

2.2. Varyasyonel Otokodlayıcı ile entegre edilmiş Üretici Çekişmeli Ağ (VAE-GAN)

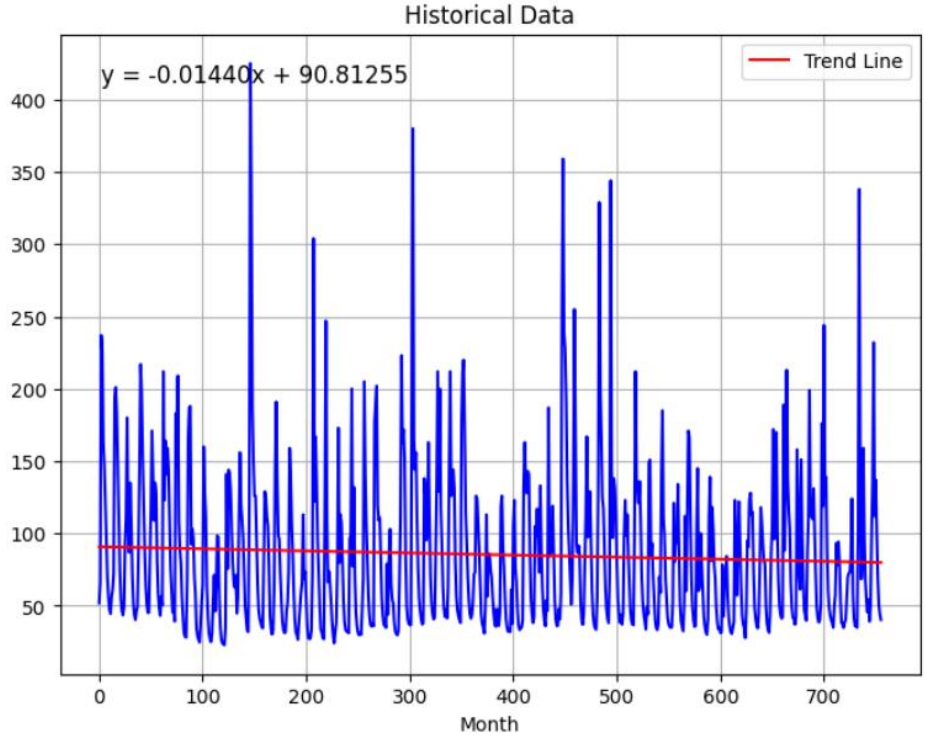
VAE-GAN yapısı, VAE'nin olasılıksal kodlama yeteneği ile GAN'ın gerçekçi örnek üretme kapasitesini bir araya getirerek daha stabil ve kaliteli üretimler sağlar (Larsen et al., 2016). VAE-GAN mimarisi üç temel sinir ağı bileşeninden oluşmaktadır: Encoder (Kodlayıcı) bileşeni girdiyi bir gizil (latent) uzaya yansıtarak olasılıksal dağılım parametrelerini (örneğin ortalama μ ve standart sapma σ) öğrenir. Bu yapı, VAE mimarisinin temelini oluşturarak verilerin anlamlı bir temsiline ulaşılmasını sağlar (Kingma & Welling, 2013). Decoder / Generator (Çözücü / Üretici) bileşeni gizil uzaydan örneklenen vektörleri kullanarak yeni veri örnekleri üretir. Bu bileşen hem yeniden yapılandırma hem de GAN kapsamında jeneratör görevini üstlenir. Discriminator (Ayrıştırıcı) bileşeni ise üretilen örneklerin gerçek mi sahte mi olduğunu değerlendiren ve jeneratörü bu doğrultuda yönlendiren sinir ağıdır (Goodfellow et al., 2014). VAE bileşeni, sürekli ve anlamlı bir latent uzay sunarak interpolasyon ve örnekleme kolaylığı sağlar. GAN bileşeni, VAE'nin ürettiği verilerde oluşabilecek bulanıklığı gidererek daha gerçekçi ve keskin örnekler üretir. Bu iki yapının birleşimi hem istikrarlı öğrenme hem de yüksek görsel/istatistiksel kalite sunar (Larsen et al., 2016). Görsel 3'te verilen VAE-GAN mimarisinde girdi verisi x, encoder aracılığıyla kodlanır. Latent uzaydan örneklenen z, decoder/jeneratöre aktarılır. Üretilen veri x′, discriminator'a gönderilerek gerçek verilerle karşılaştırılır. Eğitim döngüsü, discriminator sahte veriyi ayırt edemeyecek hale gelene kadar devam eder.



Görsel 3. VAE-GAN mimarisi

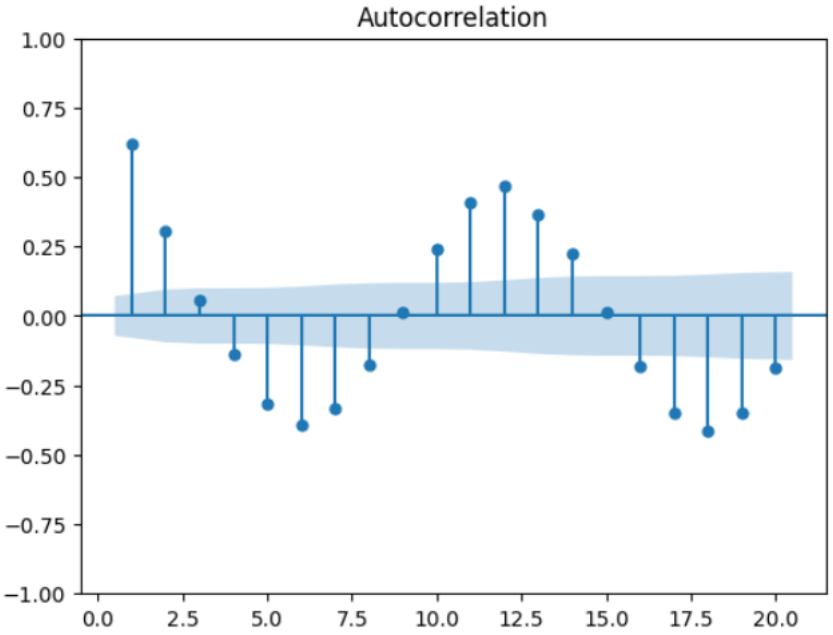
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

LSTM ve VAE-GAN algoritmaları ile Köprüçay nehrine ait akarsu akımları tahmin edilmiştir. Köprüçay üzerinde bulunan 9-02 numaralı Beşkonak akım gözlem istasyonuna ait 1941- 2003 yılları arasındaki aylık ortalama değerleri modellerin eğitimi için kullanılmıştır. Bu yıllar arasındaki tarihi akım serisi için elde edilen tarihi seriye ait eğilim çizgisi ve denklemi ve ACF (Otokorelasyon fonksiyonları) Görsel 4 ve 5'te verilmiştir.



Görsel 4. Tarihi akımlara ait zaman serisi ve eğilim çizgisi denklemi

Görsel 4'te eğilim denklemi y = -0.01440x + 90.81255 olup, bu ifade uzun vadede akım miktarlarında azalma eğilimi olduğunu göstermektedir. Eğilim çizgisinin negatif eğimli olması, Köprüçay Nehri'nin uzun dönemli ortalama debilerinde düşüş yaşandığına işaret etmektedir. Bu sonuç, özellikle iklim değişikliği ve doğal akış rejimi üzerindeki potansiyel etkilerin değerlendirilmesinde önemli bir göstergedir**.**

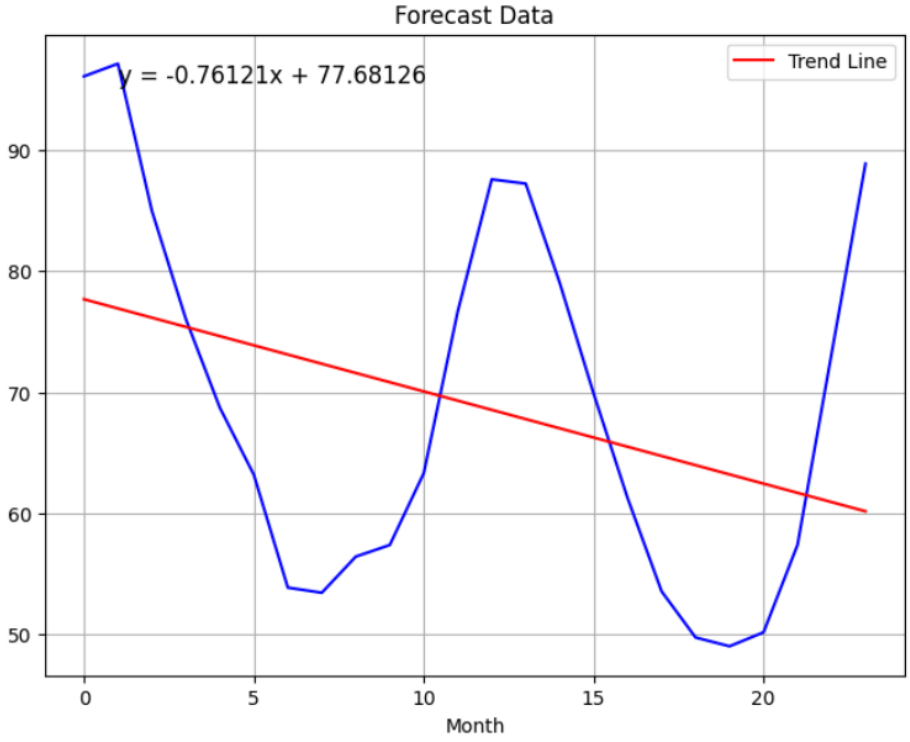


Görsel 5. Tarihi akımlara ait ACF

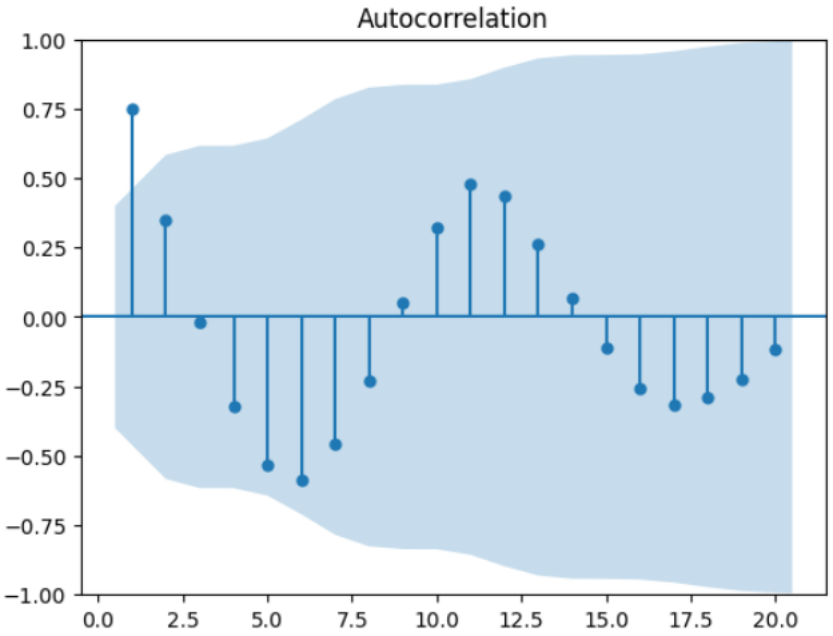
Görsel 5'te verilen otokorelasyon fonksiyonu (ACF), tarihi akım serisinin zaman içindeki bağımlılık yapısını analiz etmektedir. ACF değerlerinin pozitif ve anlamlı biçimde yavaş yavaş azalma eğilimi göstermesi, serinin güçlü bir otokorelasyon yapısına sahip olduğunu, yani geçmiş değerlerin gelecekteki değerler üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, zaman serisi modelleme için LSTM gibi hafıza temelli modellerin tercih edilmesini destekleyen önemli bir bulgudur.

Köprüçay akımlarının LSTM modeli ile modellenmesini değerlendirmek için model performansını irdelemek amacıyla iki yıllık sentetik seriler üretilmiştir. Elde edilen sentetik serilere ait eğilim çizgisi ve ACF değerleri Görsel 6 ve 7'de verilmiştir. Görsel 6'da LSTM modeli ile üretilmiş sentetik (tahmin edilen) iki yıllık akım serisine ait eğilim denklemi y = -0.76121x + 77.68126 şeklindedir. Bu eğilim, kısa vadeli tahmin döneminde LSTM modelinin ürettiği sentetik serinin azalan bir eğilim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Eğilim çizgisi, modelin geçmiş verilere dayanarak gelecekteki akım miktarlarında bir düşüş öngördüğünü göstermektedir. Bu durum, modelin tarihsel eğilim yapısını öğrenip yansıtabilme kapasitesine sahip olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Görsel 7, LSTM modeli tarafından üretilmiş sentetik verilerin otokorelasyon

fonksiyonu (ACF) değerlerini sunmaktadır. ACF grafiğindeki desenin, tarihsel veride gözlemlenen ACF yapısına benzer şekilde azalan ve düzenli bir yapıya sahip olması, LSTM modelinin zaman serisindeki içsel bağımlılıkları başarıyla öğrenebildiğini göstermektedir. Bu durum, modelin sadece ortalama değerleri değil aynı zamanda verinin dinamik yapısını da yakalayabildiğini ve doğal seriye benzer istatistiksel özellikler taşıyan sentetik veriler üretebildiğini göstermektedir.

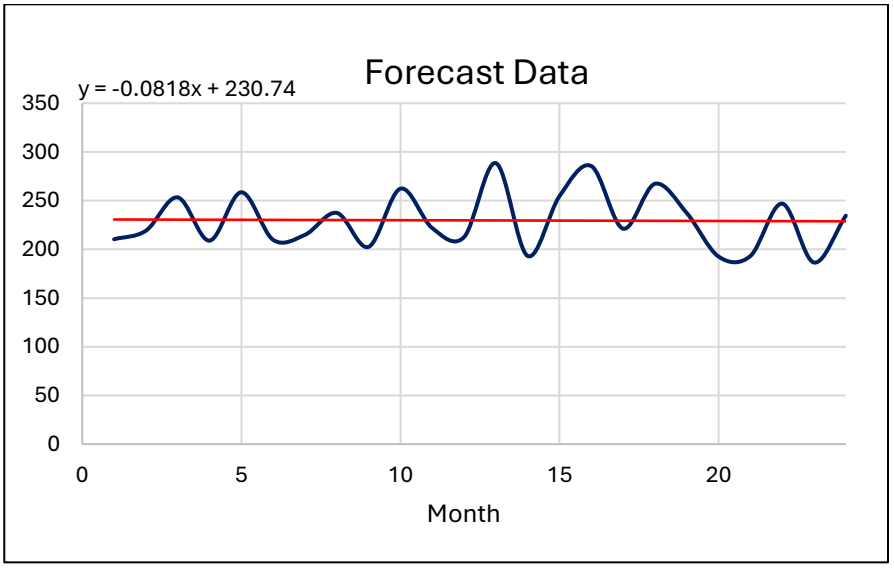


Görsel 6. LSTM ile üretilmiş sentetik akımlara ait zaman serisi ve eğilim çizgisi denklemi

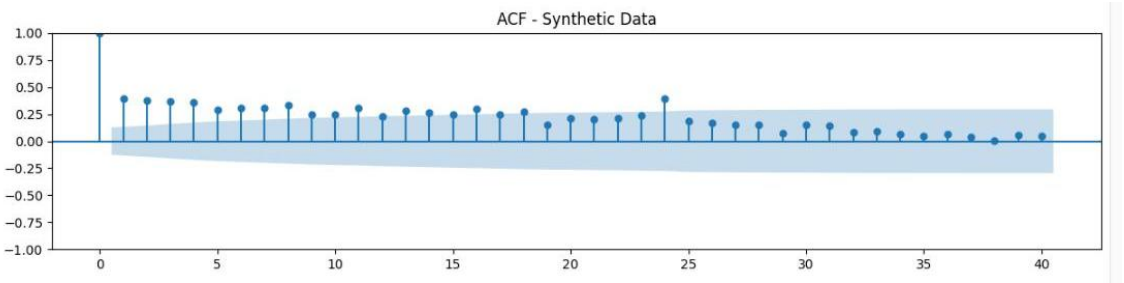


Görsel 7. LSTM ile üretilmiş sentetik akımlara ait ACF

Köprüçay akımlarının VAE-GAN modeli ile modellenmesini değerlendirmek için model performansını görmek amacıyla iki yıllık sentetik seriler üretilmiştir. Elde edilen sentetik serilere ait eğilim çizgisi ve ACF değerleri Görsel 8 ve 9'de verilmiştir.



Görsel 8. VAE-GAN ile üretilmiş sentetik akımlara ait zaman serisi ve eğilim çizgisi denklemi



Görsel 9. VAE-GAN ile üretilmiş sentetik akımlara ait ACF

Görsel 8'de, VAE-GAN modeli tarafından üretilen iki yıllık sentetik akım serisinin eğilim denklemi y = -0.0818x + 230.74 olup, negatif eğilimli ancak oldukça yatay bir seyir göstermektedir. Bu durum, VAE-GAN modelinin tarihsel eğilim yapısını kısmen yansıttığını ancak LSTM modeline kıyasla daha zayıf bir azalma eğilimi ürettiğini göstermektedir. Ayrıca, üretilen serinin genliği (değer aralığı) gerçek seriye göre daha geniştir. Bu durum, VAE-GAN'ın olasılıksal doğası gereği daha çeşitlenmiş, yaygın ama bazen aşırı uçlara sahip sentetik örnekler üretebildiğini göstermektedir. Görsel 9, VAE-GAN modeli ile üretilen sentetik seriye ait ACF grafiğini sunmaktadır. Gerçek verinin ACF eğrisi düzenli bir azalma sergilerken (Görsel 5), VAE-GAN ile üretilen verinin ACF eğrisinde daha düzensiz, dalgalı bir yapı gözlenmektedir. Bu durum, VAE-GAN modelinin zamansal bağımlılıkları yakalama kapasitesinin LSTM modeline kıyasla daha düşük olduğunu göstermektedir. Ancak bu farklılık, modelin olasılıksal üretim yapısından kaynaklanmakta olup, VAE-GAN'ın deterministik değil, daha rastlantısal ve çeşitli senaryolar üretebilme gücünün bir yansımasıdır. Bu özellik, belirsizlik analizleri ve senaryo üretimi gibi uygulamalar açısından potansiyel değer taşımaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Köprüçay Nehri'ne ait uzun dönemli (1941–2003) aylık akım verileri kullanılarak iki farklı derin öğrenme mimarisi olan LSTM ve VAE-GAN modelleri ile akım tahminleri gerçekleştirilmiştir. Her iki modelin çıktıları, istatistiksel eğilimler ve zaman serisi bağımlılık yapıları üzerinden karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Gerçek verilere ait zaman serisi (Görsel 4) ve ACF analizleri (Görsel 5), Köprüçay Nehri'nin akım serisinin negatif yönlü bir eğilim sergilediğini ve güçlü bir otokorelasyon yapısına sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, uzun dönemli hidrolojik tahminlerin sadece ortalama değerlere değil, aynı zamanda zaman içindeki bağımlılık yapılarına da duyarlı modellerle yapılması gerektiğini göstermektedir.

LSTM modeliyle üretilen sentetik serilerde (Görsel 6 ve 7), tarihsel eğilim çizgisi ile benzer bir azalma eğilimi gözlenmiş ve otokorelasyon yapısının gerçek seriye oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Bu durum, LSTM modelinin hem eğilim hem de zamansal bağımlılıkları başarılı bir şekilde öğrenip yeniden üretebildiğini göstermektedir. Bu bağlamda LSTM modeli, özellikle eğilim koruma ve yapısal bütünlüğün devamlılığı açısından güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Öte yandan, VAE-GAN modeli ile üretilen sentetik seriler (Görsel 8 ve 9), daha geniş varyansa ve daha düzensiz bir ACF yapısına sahip olmakla birlikte, çeşitliliği yüksek senaryolar üretme potansiyeli sunmuştur. Bu model, deterministik tahminler yerine olasılıksal senaryo üretimi gerektiren belirsizlik analizleri için değerli bir alternatif oluşturmaktadır. Ancak, zaman bağımlılığı yapısının zayıf takibi, klasik tahmin görevleri için performansını sınırlamaktadır.

Genel olarak, LSTM modeli, hidrolojik zaman serilerinde yapısal özellikleri koruma açısından daha yüksek doğruluk sergilerken; VAE-GAN modeli, belirsizliklerin modellenmesi ve alternatif senaryoların üretilmesi açısından önemli bir tamamlayıcı araç olarak değerlendirilebilir. Bu bulgular, veri kıtlığı yaşanan havzalarda veya gelecek iklim senaryolarının çeşitlendirilmesi gereken durumlarda, derin öğrenme modellerinin birlikte ve amaca özel olarak kullanılmasının faydalı olabileceğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Bao, J., Li, L., and Davis, A. (2022). Variational autoencoder or generative adversarial networks? A comparison of two deep learning methods for flow and transport data assimilation. Mathematical Geosciences, 54(6), 1017-1042.

Goodfellow, I. J., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., and Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. Advances in neural information processing systems, 27.

Gürlek, C., ve Bilgili, M. (2023). Aylık toplam güneş ışınımının uzun-kısa süreli bellek (LSTM) yöntemiyle tahmini: Sivas ili örneği. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2(1), 24-30.

Hochreiter, S., and Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural computation, 9(8), 1735-1780.

Jeong, H., Jeong, J., Chun, J., and Kim, H. J., *Multivariate Time-series Data Correction by combining Attention-based LSTM and GAN Model,* 9th International Conference on Applied System Innovation (ICASI), 211-213, IEEE, April, 2023.

Ji, H. K., Mirzaei, M., Lai, S. H., Dehghani, A., and Dehghani, A. (2024). Implementing generative adversarial network (GAN) as a data-driven multi-site stochastic weather generator for flood frequency estimation. Environmental Modelling & Software, 172, 105896.

Kingma, D. P., & Welling, M., *Auto-encoding variational bayes*, 2013, December.

Kordi-Karimabadi, F., Fadaei-Kermani, E., Ghaeini-Hessaroeyeh, M., and Farhadi, H. (2025). Integrating numerical models with deep learning techniques for flood risk assessment. Scientific Reports, 15(1), 8913.

Küçük, F., *Antalya Körfezine Dökülen Akarsuların Balık Faunası ve Bazı Ekolojik Parametreleri Üzerine Bir Araştırma,* Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Isparta,1997.

Larsen, A. B. L., Sønderby, S. K., Larochelle, H., and Winther, O., *Autoencoding beyond pixels using a learned similarity metric*. International conference on machine learning, 1558-1566, PMLR, June, 2016.

Niu, Z., Yu, K., and Wu, X. (2020). LSTM-based VAE-GAN for time-series anomaly detection. Sensors, 20(13), 3738.

Poornima S. and Pushpalatha M., (2019). Drought prediction based on SPI and SPEI with varying timescales using LSTM recurrent neural network, Soft Computing, 23(18), 8399-8412.

Sağdıç, M. and Bozyiğit, R. (2009). Köprüçay Havzası'nın İklimi. Marmara Coğrafya Dergisi, (19), 69-107.

Zhang, T., Yang, Z., and Li, D. (2022). Stochastic simulation of deltas based on a concurrent multi-stage VAE-GAN model. Journal of Hydrology, *607*, 127493.

COMPARISON OF DEEP LEARNING MODELS AND DROPOUT RATES ON COLORECTAL CANCER HISTOLOGY

Asst. Prof. Dr. Ismail Irmakci
Ege University, Faculty of Computer and Informatics Engineering,
Department of Computer Engineering, Izmir, Türkiye
ismail.irmakci@ege.edu.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3277-2710

Assoc. Prof. Dr. Fadil Kuyucuoglu
Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical-Electronics Engineering, Manisa, Türkiye
fadil.kuyucuoglu@cbu.edu.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0134-0491

ABSTRACT

This study investigates the effects of dropout regularization on the performance of deep learning models in the context of medical image classification using a constrained data setting. Specifically, we examine three widely used convolutional neural network (CNN) architectures—MobileNetV3 Large, DenseNet121, and ConvNeXt Tiny—on a subset of the PathMNIST dataset consisting of histological images. Recognizing that training deep learning models on limited datasets often leads to overfitting and poor generalization, we apply dropout at three levels (0.0, 0.2, 0.4) to assess its role in mitigating these effects. The study employs only 20% of the total available data for each of the training, validation, and testing stages to emulate a real-world scenario where labeled data is scarce. Each model is evaluated in terms of test accuracy, area under the receiver operating characteristic curve (AUC), and macro F1-score. Results reveal that MobileNetV3 Large with no dropout achieves the highest test accuracy (0.8684), while ConvNeXt Tiny with 0.2 dropout yields the highest AUC (0.987), indicating its superior capability to generalize across class boundaries. The macro F1-score shows competitive results across all models, with MobileNetV3 Large reaching 0.819 in its best configurations. These findings emphasize the necessity of tailoring both architecture and regularization techniques to the available dataset size and complexity of the classification task. Visual plots of accuracy, AUC, F1-score, precision, recall, and learning curves

further support our conclusions and can guide practitioners in selecting appropriate models under data-constrained environments.

Keywords: Medical Imaging, Deep Learning, Histology Classification, Dropout

1. INTRODUCTION

Medical imaging has revolutionized the field of diagnostic healthcare, offering clinicians an invaluable tool for identifying, characterizing, and monitoring diseases. Among various imaging modalities, histological imaging stands out for its high resolution and rich detail, especially in oncology-related applications. Histopathological images, stained with hematoxylin and eosin (H&E), provide cellular-level insights that are crucial for determining disease subtypes, grades, and treatment pathways[1]. However, manual interpretation of such slides is labor-intensive and subject to interobserver variability, which can impact diagnostic accuracy.

In recent years, deep learning—especially convolutional neural networks (CNNs)—has emerged as a powerful approach for automating image analysis across a range of biomedical tasks[2]. CNNs excel at capturing spatial hierarchies and local features, making them well-suited for histological image classification[3], [4], [5]. Despite their success, the performance of CNNs is highly dependent on the size and quality of training data. In clinical practice, acquiring large-scale annotated histopathology datasets can be both time-consuming and resource-intensive. As a result, training deep learning models on small datasets often leads to overfitting and degraded performance on unseen samples[1].

Dropout is a widely used regularization method introduced to combat overfitting by randomly setting a fraction of the input units to zero during training. This technique forces the network to learn redundant representations, thereby enhancing its generalization capacity. The effectiveness of dropout, however, can vary depending on model architecture, data volume, and task complexity. Thus, it is essential to understand how different architectures respond to varying levels of dropout, especially under limited data conditions.

In this study, we evaluate the influence of dropout on three modern CNN architectures: MobileNetV3 Large[6], DenseNet121[7], and ConvNeXt Tiny[8]. Each model was trained on 20% of the PathMNIST dataset to simulate a constrained data setting. We examine their performance

across three dropout rates—0.0 (no dropout), 0.2 (moderate), and 0.4 (high)—using test accuracy, area under the curve (AUC), and macro F1-score as evaluation metrics. Through this analysis, we aim to provide practical insights into the interplay between dropout, architecture, and data size in the domain of medical image classification

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 DATASET

The PathMNIST dataset[1], derived from hematoxylin and eosin (H&E)-stained colorectal tissue slides, was used for model training and evaluation. We sampled 20% of the original dataset for each training, validation, and test split to simulate limited data conditions.

2.2 MODEL ARCHITECTURES AND DROPOUT

We employed MobileNetV3 Large[6], DenseNet121[7], and ConvNeXt Tiny[8]—three modern CNN architectures known for their efficiency and accuracy. Each model was trained with dropout values of 0.0, 0.2, and 0.4.

2.3 TRAINING PROTOCOL

Models were trained for 30 epochs with the Adam optimizer (learning rate=0.001), batch size=16, and cross-entropy loss. Training was conducted using Google Colab with T4 GPU and A100 support.

2.4 EVALUATION METRICS

We evaluated the models based on test accuracy, area under curve (AUC), macro F1-score, precision, recall.

3. RESULTS

MobileNetV3 Large (Dropout 0.0) achieved the highest test accuracy at 0.8684, followed closely by ConvNeXt Tiny (0.855) and DenseNet121 (0.848) as shown in Figure 1 and Figure 6.

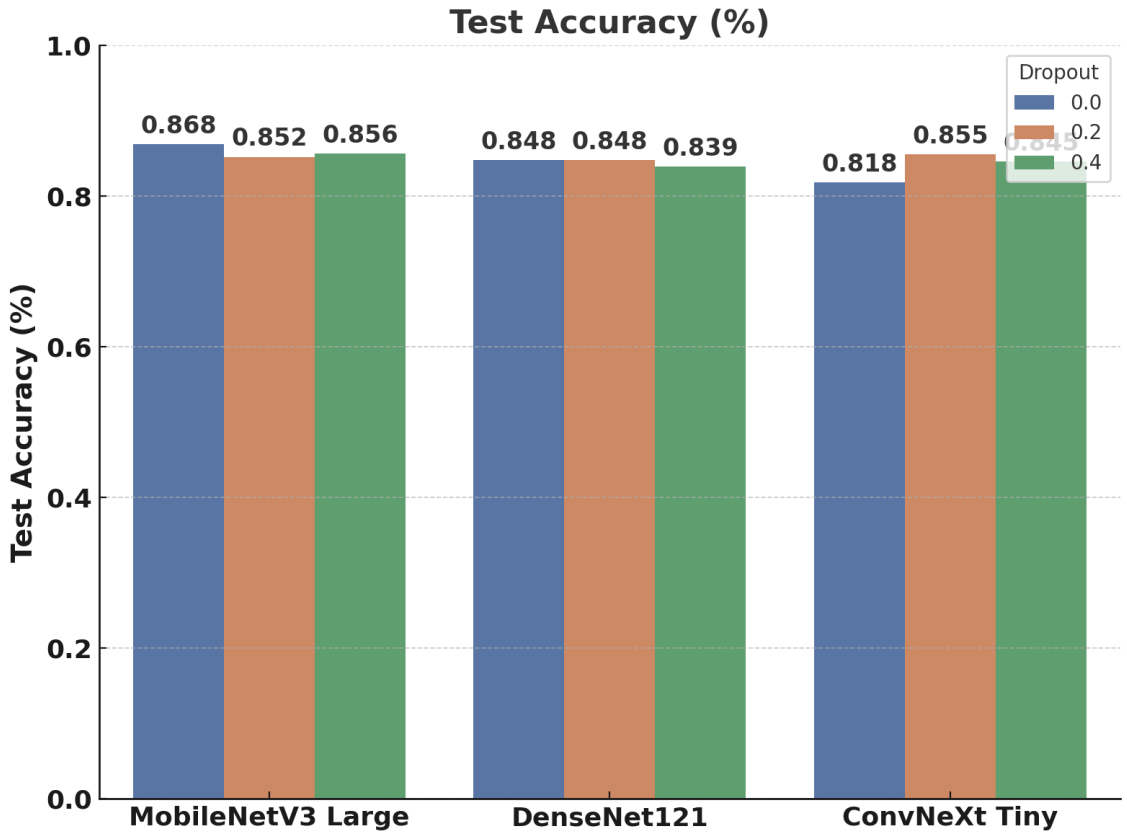


Figure 3 Test Accuracy Comparison

The best AUC score was achieved by ConvNeXt Tiny (Dropout 0.2) at 0.987, indicating superior classification confidence. MobileNetV3 Large and DenseNet121 achieved AUCs of 0.978 and 0.970 respectively (See Figure 5).

MobileNetV3 Large scored 0.819 F1 at Dropout 0.4 respectively, showing consistent precision and recall balance as shown in Table 1, Figure 2, Figure 3. DenseNet121 achieved its best F1-score at 0.804 (See Figure 4).

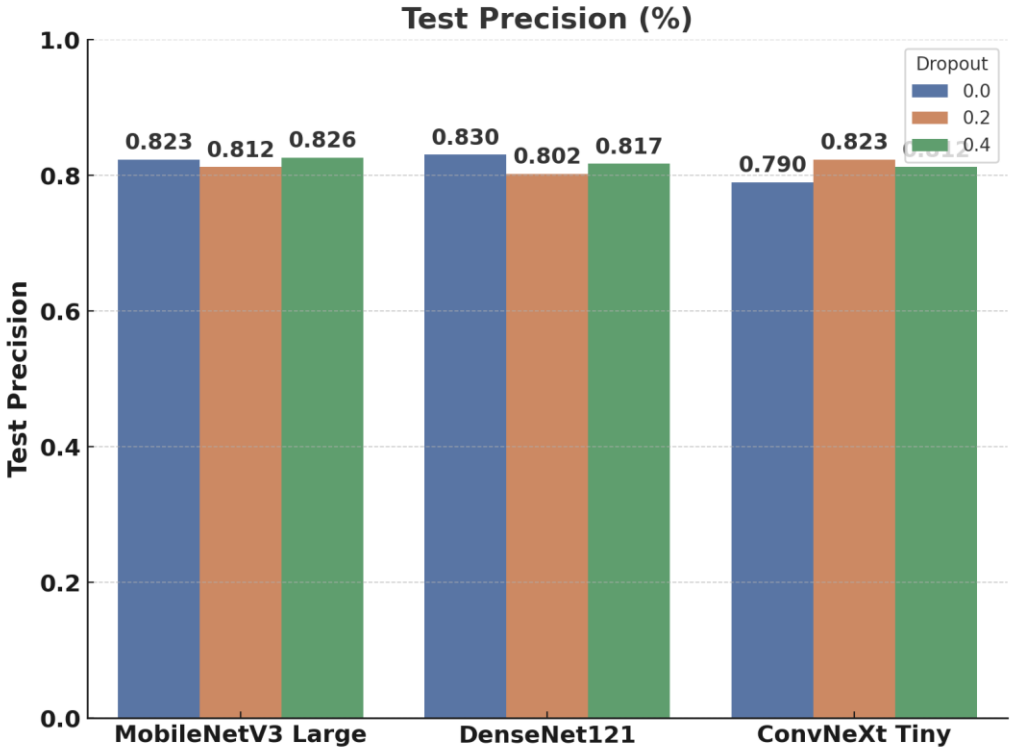


Figure 4 Test Precision Comparison

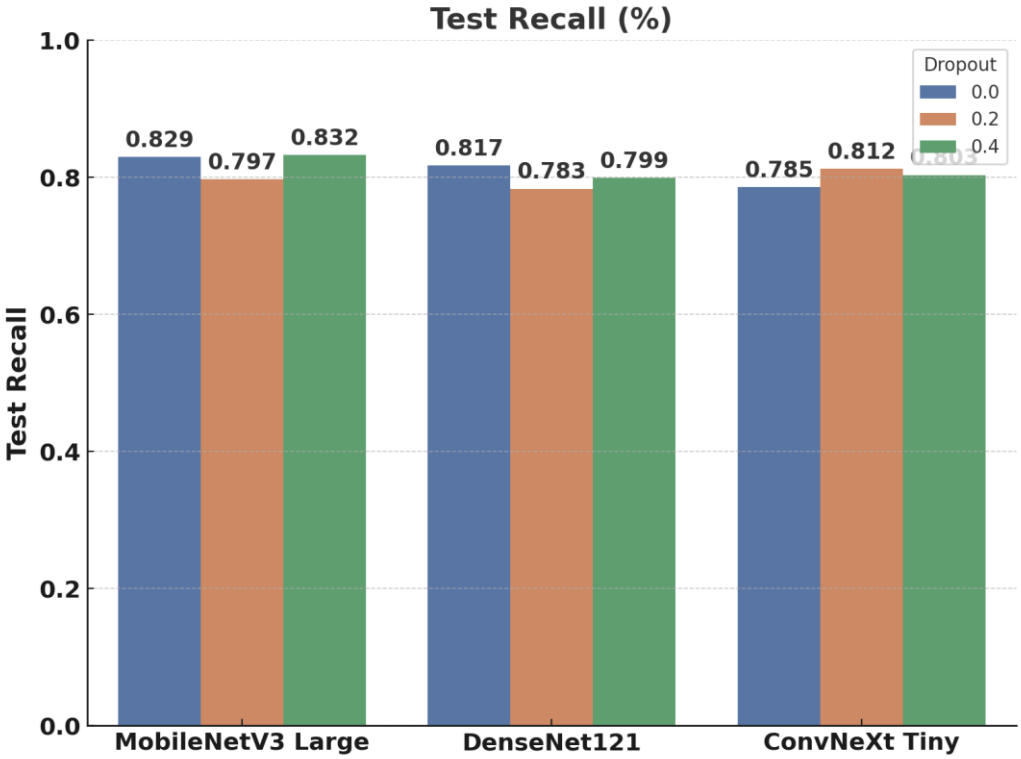


Figure 5 Test Recall Comparison

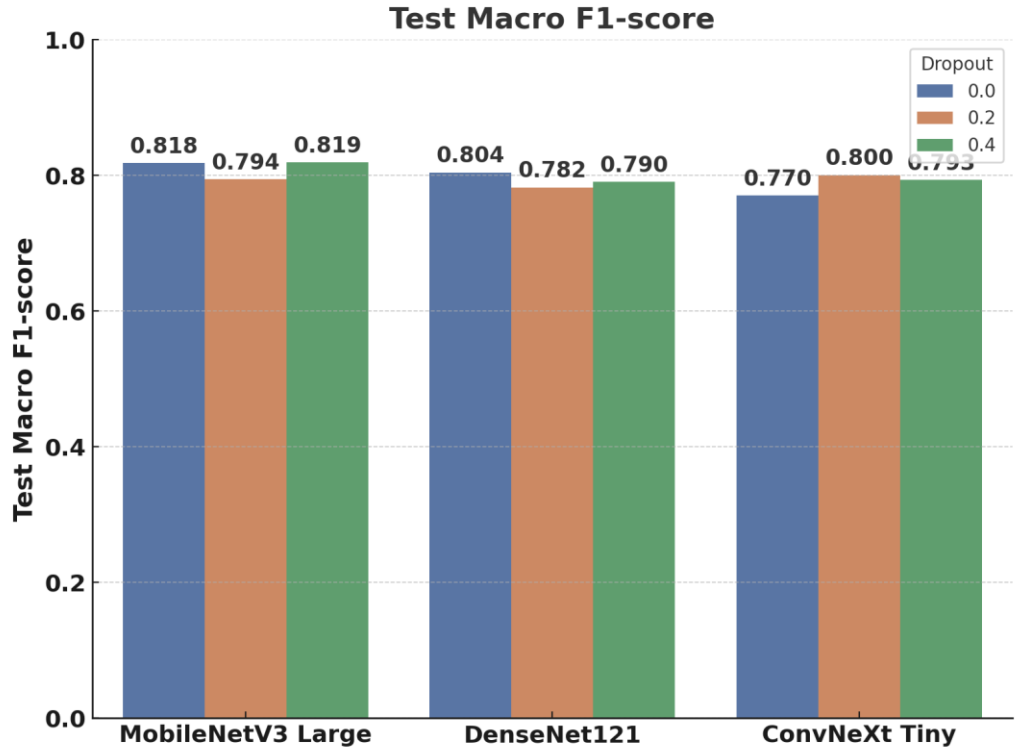


Figure 6 F1 Score Comparison

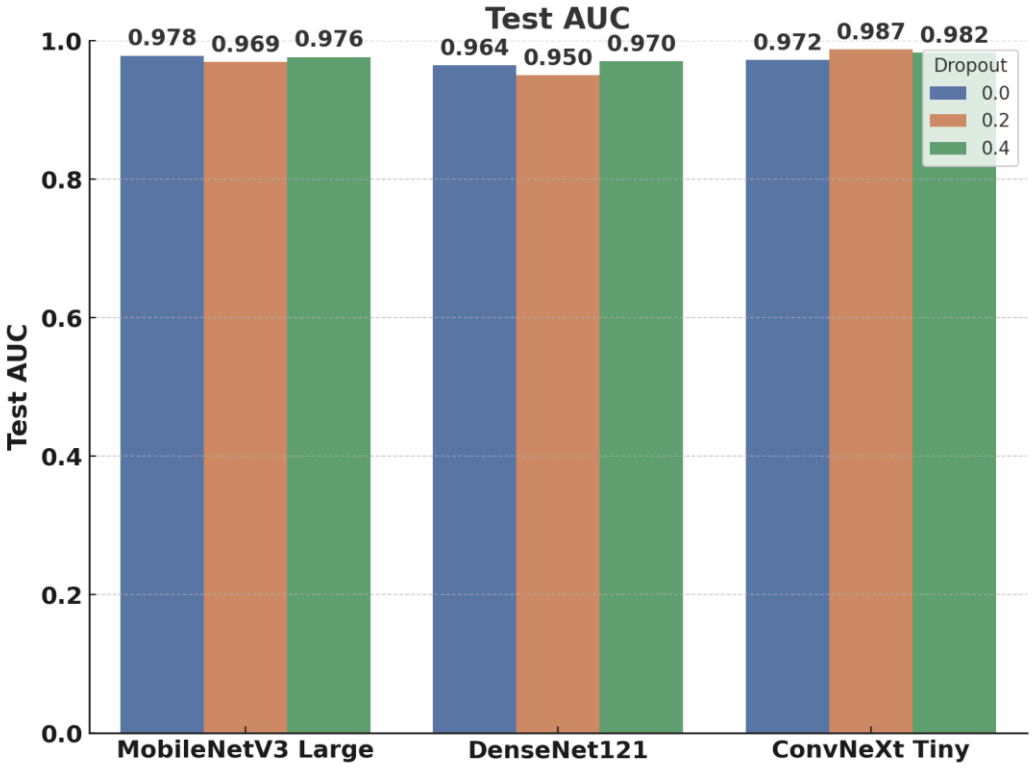


Figure 7 Test AUC Comparison

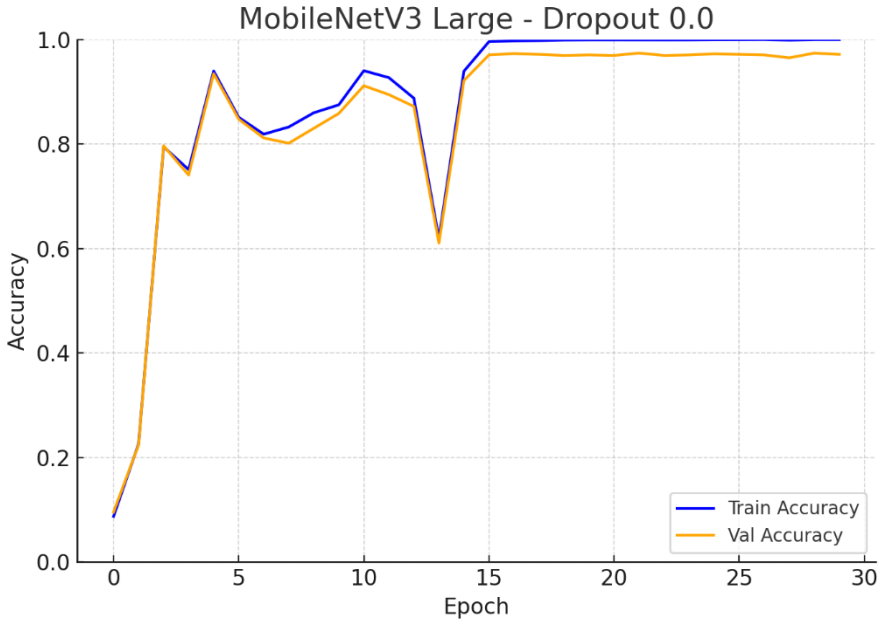


Figure 8 Best MobileNetV4 model: training vs validation Accuracy

4.DISCUSSION

Our results suggest that model architecture and dropout must be jointly optimized depending on data availability (See Table 1).

Table 1 Test Accuracy and Best Epoch by Model and Dropout

Model	Dropout	Accuracy	BestEpoch
ConvNeXt Tiny	0.0	0.8175	17
ConvNeXt Tiny	0.2	0.8552	18
ConvNeXt Tiny	0.4	0.8454	21
DenseNet121	0.0	0.8475	25
DenseNet121	0.2	0.8475	25
DenseNet121	0.4	0.8391	28
MobileNetV3 Large	0.0	0.8684	17
MobileNetV3 Large	0.2	0.8517	22
MobileNetV3 Large	0.4	0.8558	17

MobileNetV3 Large generalized better with no dropout, while ConvNeXt Tiny benefited from moderate dropout. DenseNet121 showed less variance across dropout configurations, suggesting stability but lower peak performance.

This implies that when data is limited, architectural design (like ConvNeXt's transformer-inspired design or MobileNet's lightweight nature) and regularization through dropout interact in complex but predictable ways.

5. CONCLUSIONS

. Dropout regularization and architecture type significantly affect deep learning model performance under limited data conditions. Our experiments show that:

- MobileNetV3 Large is optimal for raw performance without dropout.
- ConvNeXt Tiny yields the best AUC among its variants when trained with a dropout rate of 0.2
- DenseNet121 provides stable results across settings.

REFERENCES

[1] 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.
[2] M. Y. Lu, D. F. Williamson, T. Y. Chen, R. J. Chen, M. Barbieri, and F. Mahmood, "Data-efficient and weakly supervised computational pathology on whole-slide images," *Nature Biomedical Engineering*, vol. 5, no. 6, pp. 555–570, 2021.
[3] 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.
[4] Z. Liu *et al.*, "Swin Transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows," in *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2021, pp. 10012–10022.
[5] Hu Cao *et al.*, "Swin-Unet: Unet-Like Pure Transformer for Medical Image Segmentation," *ECCV Workshops*, pp. 205–218, Jan. 2023, doi: 10.1007/978-3-031-25066-8_9.
[6] B. Koonce, "MobileNetV3," in *Convolutional neural networks with swift for tensorflow: image recognition and dataset categorization*, Springer, 2021, pp. 125–144.

[7] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 4700–4708.

[8] 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.

COMPARATIVE DROPOUT ANALYSIS OF DEEP LEARNING ARCHITECTURES FOR MULTICLASS DETECTION ON CHEST X-RAY IMAGES

Asst. Prof. Dr. Ismail Irmakci
Ege University, Faculty of Computer and Informatics Engineering,
Department of Computer Engineering, Izmir, Türkiye
ismail.irmakci@ege.edu.tr ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3277-2710

ABSTRACT

COVID-19 pandemic has highlighted the critical need for fast, accurate, and scalable diagnostic tools to support clinical decision-making and public health interventions. This study presents a comprehensive evaluation of state-of-the-art convolutional neural network (CNN) architectures—DenseNet121, VGG19, and ConvNeXtBase—for multiclass classification of chest X-ray (CXR) images across four clinically relevant categories: COVID-19, Lung Opacity, Normal, and Viral Pneumonia. To assess the robustness and diagnostic performance of these architectures, a systematic experimentation framework was implemented, involving different dropout regularization levels (0.1, 0.2, and 0.5). Transfer learning with ImageNet pre-trained weights was applied to enhance feature representation on the relatively small, curated dataset of 5376 public 2D CXR images. The models were trained and validated using consistent protocols and evaluated using accuracy, precision, recall, and F1-score metrics. Among the tested models, ConvNeXtBase demonstrated superior performance, achieving the highest test accuracy of 91.82% and F1-score of 0.918 with a dropout rate of 0.2. VGG19 offered a balance between architectural simplicity and predictive power, while DenseNet121 showed greater sensitivity to dropout, especially at higher regularization levels. The analysis highlights the impact of architectural design and hyperparameter choices, particularly dropout regularization—on the generalization capability of CNNs in medical image classification. The findings contribute valuable insights into architecture selection and model optimization strategies for developing effective AI-based screening tools. These tools have the potential to assist radiologists in a timely and accurate diagnosis of COVID-19 and other pulmonary conditions, ultimately improving patient outcomes during pandemic situations and beyond.

Keywords: COVID-19, deep Learning, chest X-ray, CNN, dropout, medical imaging classification

1. INTRODUCTION

The global pandemic caused by Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) has significantly disrupted healthcare systems worldwide, underscoring the urgent need for rapid and accurate diagnostic methods. Early detection of COVID-19 is vital to reduce mortality risk, contain disease transmission, and improve treatment outcomes for comorbid conditions such as lung cancer. In response, computational diagnostic tools—particularly deep learning techniques applied to chest X-ray (CXR) images—have gained prominence as effective solutions to automate and enhance clinical decision-making. Chest X-rays remain a widely accessible and cost-effective modality for diagnosing thoracic diseases. However, their manual interpretation is often subjective, time-consuming, and prone to variability among radiologists. To overcome these limitations, deep learning models have been increasingly deployed for the classification of chest conditions**[1]**, including COVID-19, lung opacity, normal lungs, and viral pneumonia[2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Transfer learning has further enabled the application of pre-trained models on large-scale datasets to boost performance, even when domain-specific data is limited. This study conducts a comparative analysis of three prominent convolutional neural network (CNN) architectures—ConvNeXtBase[1], DenseNet121[10], and VGG19[11]—for multiclass classification of chest conditions using publicly available 2D CXR datasets. The rationale for selecting these models is grounded in their architectural strengths: ConvNeXtBase for its balance between accuracy and modern design, DenseNet121 for its efficient feature propagation, and VGG19 for its simplicity and strong baseline performance. By evaluating these models under varying dropout rates, this research aims to identify the most effective deep learning strategy for robust COVID-19 diagnosis from chest X-rays.

Previous studies have established the effectiveness of CNNs in radiology-based diagnosis[2], [4]. However, most studies focus on binary classification (e.g., COVID vs. Normal). Fewer works address multiclass classification, and even fewer analyze model robustness across dropout levels. Emerging developments such as ConvNeXt have yet to be benchmarked comprehensively in this context.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 DATASET

This study uses a curated dataset of 5376 publicly available chest X-ray (CXR) images, randomly sampled and evenly distributed across four diagnostic classes: COVID-19, Lung Opacity, Normal, and Viral Pneumonia. The CXR images were sourced from the COVID-19 Chest X-Ray Database, a publicly accessible dataset developed collaboratively by researchers from Qatar University, the University of Dhaka, and institutions in Pakistan and Malaysia, in consultation with medical professionals[12].

2.2 MODEL ARCHITECTURES

Three CNN architectures were selected:

1. DenseNet121[10]: Known for its dense connections and efficient gradient flow.
2. VGG19[11]: Deep but simple architecture with uniform convolutional layers.
3. ConvNeXtBase[1]: A modernized ResNet-inspired CNN with improved depthwise convolutions

2.3 TRAINING PROTOCOL

All models were fine-tuned using ImageNet pre-trained weights. Dropout rates of 0.1, 0.2, and 0.5 were applied to models. The training process used Adam optimizer (learning rate = 0.001) and categorical cross-entropy loss for 25 epochs. The implementation was carried out in Python 3 using the Google Colab platform, utilizing a Tesla T4 GPU.

2.4 EVALUATION METRICS

Performance was evaluated using accuracy, precision, recall, and F1-score, with confusion matrices and per-class analysis.

3. RESULTS

This section presents a detailed analysis of the experimental outcomes, focusing on test accuracy, precision, recall, and F1-score for each model architecture under different dropout configurations

(0.1, 0.2, and 0.5) as show in Figure 1, Figure 2, Figure 3 and Figure 4. The ConvNeXtBase model consistently outperformed DenseNet121 and VGG19 across all dropout settings for pneumonia classes. DenseNet121 showed significantly reduced performance in the COVID and Lung Opacity classes when exposed to higher dropout rates. The study revealed that a dropout rate of 0.2 yielded optimal generalization across all models, striking a balance between underfitting and overfitting. Increasing dropout to 0.5 led to noticeable performance degradation, particularly for DenseNet121, which experienced a sharp decline in F1-score (from 0.836 at dropout 0.1 to 0.8028 at dropout 0.5). VGG19 maintained moderate stability, while ConvNeXtBase retained high performance, even at higher dropout levels (See Figure 1, Table 1).

Table 1 Test F1-Score

Dropout	ConvNeXtBase	DenseNet121	VGG19
0.1	0.8953	0.8568	0.8808
0.2	0.9180	0.8360	0.8800
0.5	0.9069	0.8028	0.8516

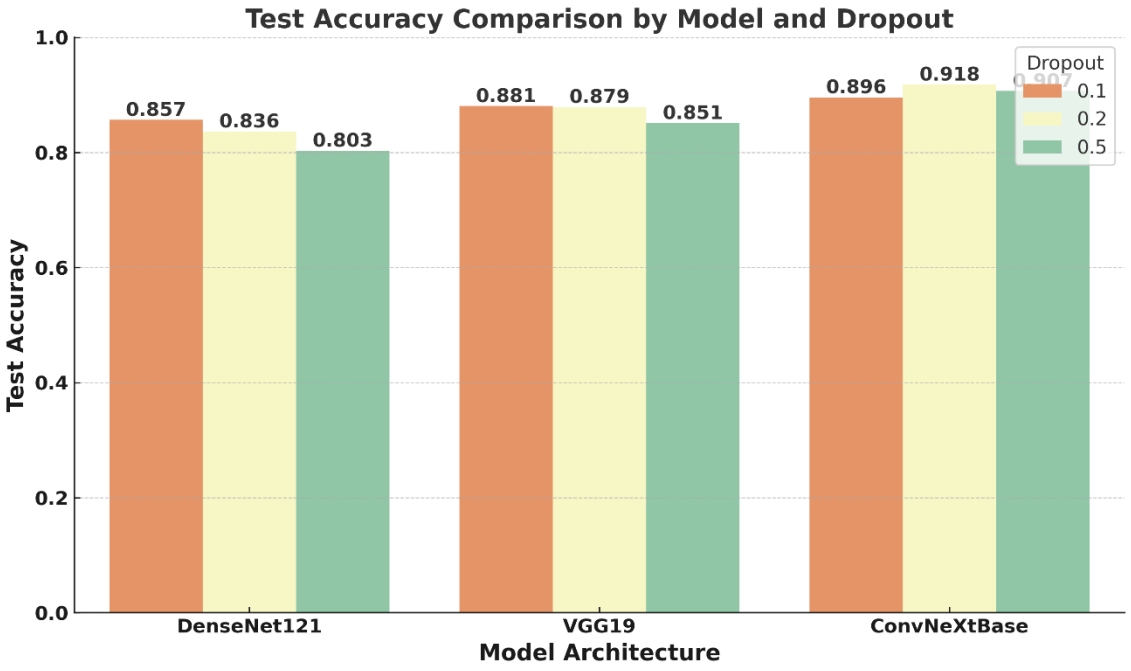


Figure 9 Test Accuracy Comparison

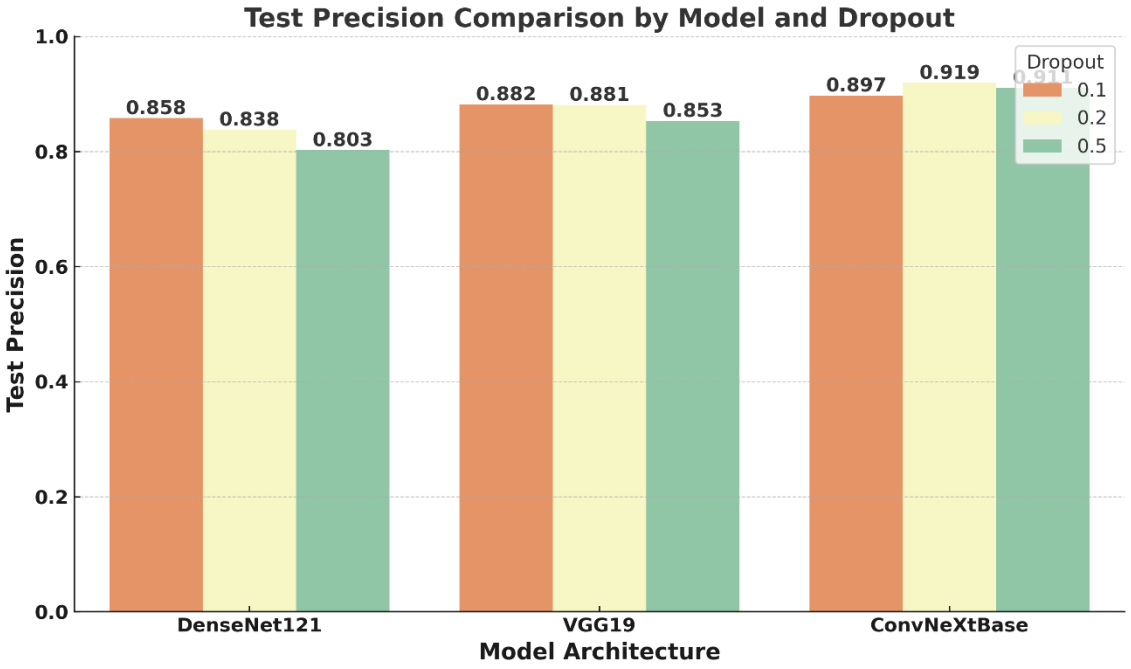


Figure 10 Test Precision Comparison

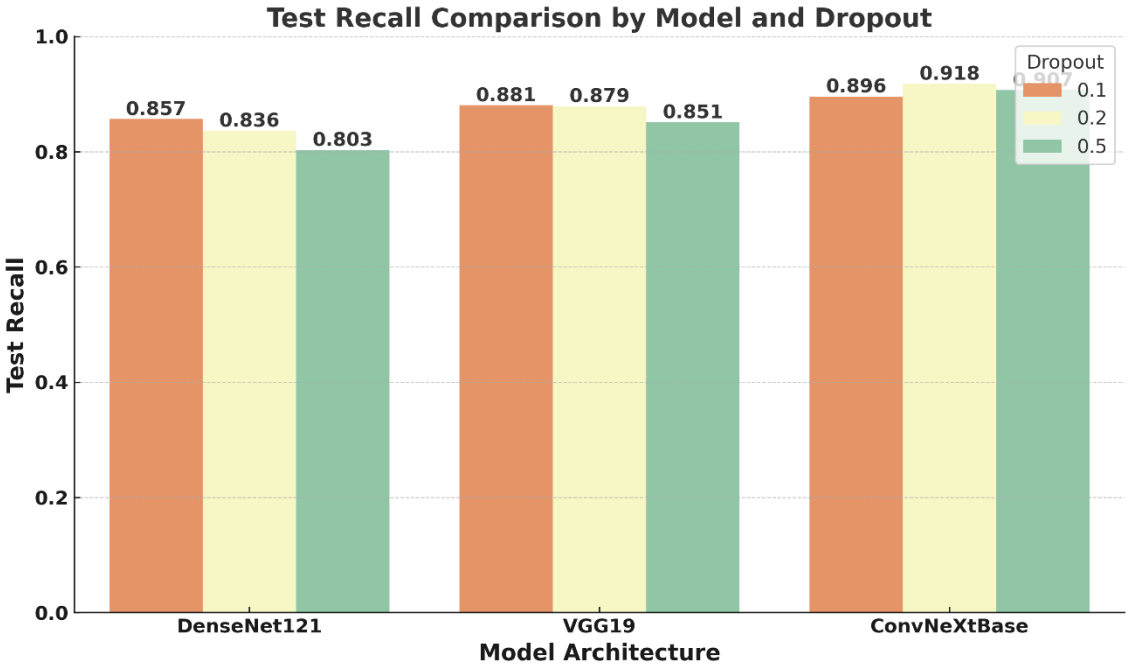


Figure 11 Test Recall Comparison

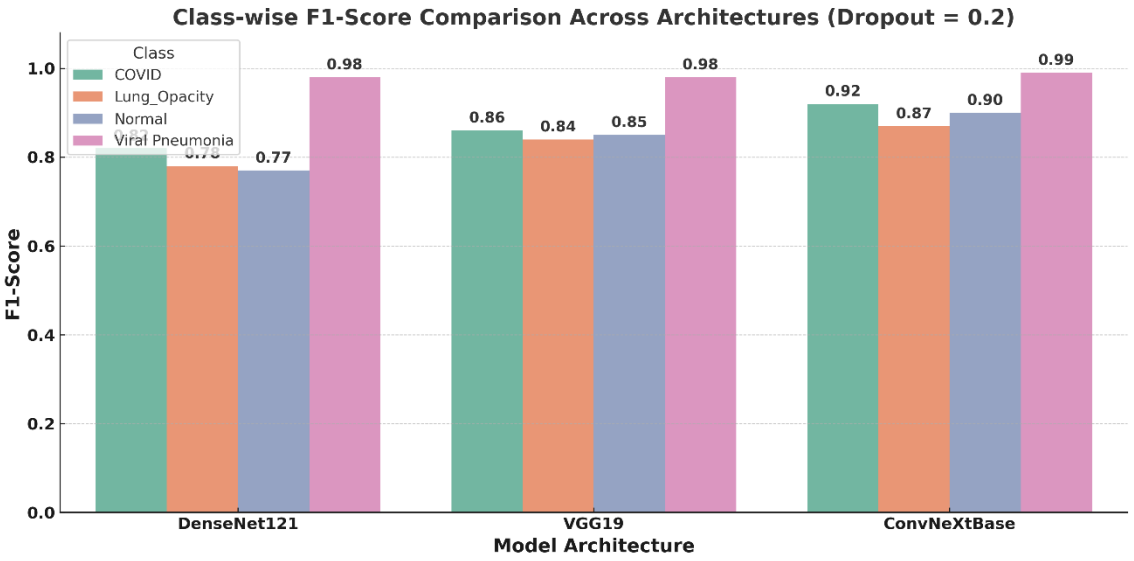


Figure 12 Class-wise F1 Score Comparison for dropout = 0.2

The highest overall performance was achieved by ConvNeXtBase at a dropout rate of 0.2, yielding a test accuracy of 91.82%, precision of 91.95%, recall of 91.82%, and F1-score of 91.80%. VGG19 followed with a peak accuracy of 88.10% and F1-score of 88.08% at a dropout rate of 0.1 as shown in Table 2**.**

Table 2 Overall Model-Level Comparison

Dropout	Model	Test Accuracy	Test Loss	Test Precision	Test Recall	Test F1
0.1	DenseNet121	0.8569	0.4300	0.8583	0.8569	0.8548
0.2	DenseNet121	0.8364	0.4339	0.8376	0.8364	0.8360
0.5	DenseNet121	0.8030	0.4922	0.8027	0.8030	0.8028
0.1	VGG19	0.8810	0.3244	0.8819	0.8810	0.8808
0.2	VGG19	0.8792	0.3363	0.8813	0.8792	0.8800
0.5	VGG19	0.8513	0.3607	0.8532	0.8513	0.8516
0.1	ConvNeXtBase	0.8959	0.2502	0.8974	0.8959	0.8953
0.2	ConvNeXtBase	**0.9182**	0.2457	**0.9195**	**0.9182**	**0.9180**
0.5	ConvNeXtBase	0.9071	0.2698	0.9108	0.9071	0.9069

DenseNet121 attained a maximum accuracy of 85.69% and F1-score of 85.48%, also at dropout 0.1. ConvNeXtBase achieved superior per-class F1-scores across all four diagnostic categories at a dropout rate of 0.2: COVID-19: 0.92, Lung Opacity: 0.87, Normal: 0.90, Viral Pneumonia: 0.99. VGG19 exhibited stable and competitive performance across categories, especially in the Normal and Viral as shown in Figure 4.

4.DISCUSSION

This study conducted a comprehensive comparative analysis of three prominent deep learning architectures—ConvNeXtBase, DenseNet121, and VGG19—applied to the multiclass classification of chest X-ray (CXR) images for detecting COVID-19, Lung Opacity, Normal lungs, and Viral Pneumonia. The evaluation focused on overall classification performance as well as per-class metrics, with particular emphasis on the role of dropout regularization. The ConvNeXtBase model emerged as the best-performing architecture across all evaluation metrics. With a dropout rate of 0.2, it achieved a test accuracy of 91.82% and an F1-score of 0.918, significantly outperforming DenseNet121 and VGG19. Its superior performance can be attributed to its modernized architecture that combines design principles from both convolutional and transformer-based models, allowing for improved feature extraction and generalization. In contrast, VGG19, although simpler in design, performed reliably with a relatively stable response to different dropout levels. Its best accuracy of 88.10% at dropout 0.1 and F1-score of 0.8808 indicates its effectiveness as a baseline model with strong feature representation capabilities, especially in environments with limited computational resources. On the other hand, DenseNet121 exhibited the lowest performance among the three architectures, with the best accuracy of 85.69% and F1-score of 0.8548 at a dropout of 0.1. Dropout regularization played a critical role in controlling model generalization. The results show that a dropout rate of 0.2 consistently provided the best trade-off between underfitting and overfitting for all architectures. Conversely, a higher dropout rate of 0.5 generally degraded performance across all models, highlighting the importance of carefully tuning regularization parameters in deep learning workflows, especially in medical imaging domains where data may be limited.

5. CONCLUSIONS

This study presents a detailed comparative evaluation of ConvNeXtBase, DenseNet121, and VGG19 CNN architectures for multiclass classification of chest conditions using 2D chest X-ray images. Among the tested models, ConvNeXtBase with a dropout rate of 0.2 delivered the most robust and accurate diagnostic performance, achieving 91.82% accuracy and 0.918 F1-score. It also demonstrated superior per-class sensitivity, particularly in distinguishing COVID-19 and other pulmonary pathologies. While VGG19 provided a commendable balance between architectural simplicity and classification effectiveness, DenseNet121 proved to be more vulnerable to high regularization, reflecting the nuanced interplay between model design and hyperparameter choices. The findings affirm the critical importance of architecture selection and dropout tuning in medical image classification tasks. Deep learning models—when optimally configured—can significantly enhance the speed and accuracy of radiological diagnostics, thus playing a vital role in pandemic response and broader healthcare delivery.

REFERENCES

[1] 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.

[2] M. Polsinelli, L. Cinque, and G. Placidi, “A light CNN for detecting COVID-19 from CT scans of the chest,” *Pattern Recognition Letters*, vol. 140, pp. 95–100, 2020.

[3] G. Mohan, M. M. Subashini, S. Balan, and S. Singh, “A multiclass deep learning algorithm for healthy lung, Covid-19 and pneumonia disease detection from chest X-ray images,” *Discover Artificial Intelligence*, vol. 4, no. 1, p. 20, 2024.

[4] T. Ozturk, M. Talo, E. A. Yildirim, U. B. Baloglu, O. Yildirim, and R. U. Acharya, “Automated detection of COVID-19 cases using deep neural networks with X-ray images,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 121, p. 103792, 2020.

[5] A. Narin, C. Kaya, and Z. Pamuk, “Automatic detection of coronavirus disease (COVID-19) using x-ray images and deep convolutional neural networks,” *Pattern Analysis and Applications*, vol. 24, pp. 1207–1220, 2021.

[6] I. D. Apostolopoulos and T. A. Mpesiana, “Covid-19: automatic detection from x-ray images utilizing transfer learning with convolutional neural networks,” *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, vol. 43, pp. 635–640, 2020.

[7] C. Robinson *et al.*, “Deep learning models for COVID-19 chest x-ray classification: Preventing shortcut learning using feature disentanglement,” *medRxiv*. 2021.

[8] S. Rahman, S. N. Sarker, M. A. A. Miraj, R. A. Nihal, A. K. M. N. Haque, and A. A. Noman, “Deep learning–driven automated detection of Covid-19 from radiography images: A comparative analysis,” *Cognitive Computation*, pp. 1–30, 2021.

[9] M. Loey, F. Smarandache, and N. E. M. Khalifa, "Within the lack of chest COVID-19 X-ray dataset: a novel detection model based on GAN and deep transfer learning," *Symmetry*, vol. 12, no. 4, p. 651, 2020.
[10] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, "Densely connected convolutional networks," in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 4700–4708.
[11] K. Simonyan and A. Zisserman, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, 2014.
[12] T. Rahman, "COVID-19 Radiography Database." 2024. Access link: https://www.kaggle.com/datasets/tawsifurrahman/covid19-radiography-database

DEEP LEARNING BASED PREDICTIVE MAINTENANCE USING SOUND DATA FROM DC AND BLDC MOTORS

Hatice Deniz Göncü
İzmir Katip Çelebi University
goncu.deniz2000@gmail.com – 0009-0002-8229-7364

Mehmet Uğur Soydemir
Izmir Katip Çelebi University
soydemirmehmetugur@gmail.com – 0000-0002-2327-1642

Savaş Şahin
İzmir Katip Çelebi University
sahin.savas@yahoo.com - 0000-0003-2065-6907

ABSTRACT

In this study, a predictive maintenance system is designed based on fault detection of direct current (DC) and brushless direct current (BLDC) motors using sound data. The primary objective of the designed system is to minimize human intervention, reduce maintenance costs, and mitigate the effects of potential damage by detecting faults in motors at an early stage. In this aspect, the designed system supports the Industrial Innovation and Infrastructure issue of the Global Goals for Sustainable Development by encouraging innovation in industrial systems and ensuring more efficient use of resources. The system consists of three stages: hardware design, data collection and software design. In the hardware stage, an experimental setup consisting of DC motors with bearings, DC motors without bearings and BLDC motors was established. Diversity was provided in the dataset by giving various faults from these motors under different conditions. During the data collection stage, a dataset was created by recording sounds from both faulty and healthy DC and BLDC motors in a laboratory environment with a condenser microphone, and then the relevant data was preprocessed. In the software stage, a convolutional neural network (CNN) was used as a deep learning model. The CNN model was trained with preprocessed sound data and then tested with the microphone. The trained model is integrated into a web-based interface. Analysis results of the tested motor are presented through the developed web interface.

Keywords: Predictive Maintenance, Convolutional Neural Network, DC, BLDC

1. INTRODUCTION

Predictive maintenance detects potential failures of components without causing downtime. For this reason, it is one of the cornerstones of industrial automation [1]. Traditional maintenance methods consist of periodic services, manual checks and hardware inspections. However, these maintenance methods are time and financial inefficient and laborious [2]. They are also difficult to implement in large-scale industrial environments due to their human intervention-based nature. As industrial environments require advanced technologies day by day, the demand for smart, automated maintenance solutions is quite high.

In the literature, the primary goal of predictive maintenance is to shorten downtime, prevent unplanned ones, and schedule maintenance needs [3]. In one study, a deep learning based predictive maintenance system was designed for a coffee machine. Two different types of coffee machines were fitted with multiple microphones and neural networks and gestures were tested. At the end of the study, it was observed that the system was able to analyze the sounds produced by the coffee machine and correctly classify them [4]. In another study, a machine learning based predictive maintenance system for servo motors was designed. A dataset was created based on the acoustic signatures of servo motors. A combination of ML algorithms is used to perform condition classification of servo motors. This study emphasizes the practical application of machine learning in predictive maintenance [5]. In another study, a new deep learning based methodology for predictive maintenance in abnormal sound detection is proposed. Experiments are conducted to measure the effectiveness of the proposed methodology on multiple instances of different industrial machines. As a result, low inference time is achieved compared to the approaches found in the literature [6].

Motors are components used in many industries. Their uninterrupted operation is important for the continuity of industrial operations. This paper focuses on addressing the challenges of traditional maintenance approaches by using deep learning techniques to develop a predictive maintenance system specifically designed for DC and BLDC motors. In the proposed system, Convolutional Neural Network (CNN) is chosen as the deep learning model. The use of CNN in sound processing has improved the accuracy of the analysis of motor sounds and made the system more reliable. Since the designed system uses CNN, it can detect sound data without the need for hardware. Therefore, it offers a more cost-effective and continuous solution for maintenance systems. The dataset created with sound recordings from faulty and healthy engines was used in CNN training. The trained CNN model was successful in the tests and was able to classify the faulty and healthy engines according to their types and was integrated into a website for industrial operations. This website not only increases the accessibility of the system but also provides a practical solution for various industrial environments by enabling real-time fault detection and monitoring. The proposed system aims at an innovation in predictive maintenance systems by reducing human intervention as much as possible and automating maintenance processes.

This study is aligned with several Sustainable Development Goals, in particular Goal 8: Decent Work and Economic Growth, Goal 9: Industry, Innovation and Infrastructure and Goal 12: Responsible Consumption and Production. The study contributes to Goal 8 by reducing waiting time and increasing operational efficiency, as well as promoting long-term equipment utilization. It supports Goal 9 by encouraging innovation in industrial systems. It contributes to Goal 12 by

extending the lifespan of the equipment used, eliminating the need for frequent replacement and reducing industrial waste.

2. MATERIAL AND METHOD

This study is a systematic approach that utilizes data-driven insights and signal processing techniques to solve problems in traditional maintenance methods. The designed system consists of a condenser microphone to collect audio data, two DC motors, one BLDC motor, and a website where the CNN model, trained from the audio data, will be embedded. The methodology comprises hardware design, data collection, and software design.

2.1 Hardware Design

The hardware design describes the key components used in the study to generate and analyze the dataset. Key components include a high-quality microphone for precise acoustic recordings, as well as healthy and faulty motors, which are carefully selected to create a diverse and realistic dataset. To capture high-quality audio data, the Samson C01U PAK USB condenser microphone was selected (Figure 1). This microphone offers advantages such as its high sensitivity and wide frequency response, guaranteeing precise sound capture even with subtle motor noise. The microphone was calibrated to work optimally in a noisy laboratory environment. These adjustments guaranteed consistent and high-quality recordings, essential for CNN model training.



Figure 1. The Samson C01U PAK USB Condenser Microphone

To create the dataset, three motors were selected. The selection of the motors was based on their frequency of use in industrial applications and the types of potential failures they may encounter. The motors used in the study are presented in Figure 2. In the figure, motor number 1 is a BLDC, motor number 2 is a DC motor with bearings, and motor number 3 is a DC motor without bearings.



Figure 2. Motors Used in Study

The purpose of bearings in a rolling DC motor is to support the rotor, providing smoother motion and efficiency. The bearing reduces friction and extends the life of the motor. DC motors with bearings require less maintenance due to the use of bearings and provide more efficient energy use compared to other motors. For this reason, they are preferred in applications requiring high operating speed and high torque. They are generally used in applications such as robotics, HVAC systems and electric vehicles.

The bearingless DC motor has a simpler and cheaper design because it does not use bearings. The lack of bearings creates friction, wear and the need for more frequent maintenance in the long term. The rotor directly contacts the motor housing and this is the main cause of wear. Bearingless DC motors have a shorter operating life compared to bearing DC motors. Their low cost and simple design make them suitable for fast and inexpensive applications such as home appliances and small motorized systems.

The brushless DC (BLDC) motor is more advanced than brushed BLDC motors, relying on electronic controllers to manage the movement of the rotor. Its design avoids mechanical wear on the brushes, which reduces the need for maintenance and increases efficiency and lifetime. Compared to other motors, BLDC motors are quieter, produce less heat and offer superior torque and speed control. They are used in applications requiring precision such as electric vehicles, robotics and aerospace.

Failures are given to the motors according to the failures encountered in the industry and their intensity. In the DC motor with bearings, the bearings were damaged to simulate wear and tear. In a bearingless DC motor, one of the winding wires was deliberately cut to simulate rotor failure and cause an imbalance in its operation that would be reflected in its sound. In the BLDC motor, a rotor failure was simulated by cutting one of the winding wires. The damaged motors are shown in Figure 3.



Figure 3. Faulty Motors

2.2 Data Collection and Preprocessing

The data acquisition and pre-processing phase is designed to acquire high quality audio data from healthy and faulty DC and BLDC motors. This chapter describes in detail the pre-processing stage, which involves the preparation of the raw audio data. Descriptions of the data labeling, noise reduction, feature extraction and data set partitioning steps involved in the preprocessing stage are presented. The Samson C01U microphone to be used in the study was calibrated and the necessary preparations for recording the audio data were completed. Data set creation was performed in the laboratory. Data set creation and data collection were systematically performed with three motor types: DC motor with bearings, DC motor without bearings and Brushless DC (BLDC) motor. Recordings were made both under normal operating conditions and under faulty operating conditions of the selected motors. BLDC motor sounds were taken at three different RPM levels: 1300 rpm, 1600 rpm and 2000 rpm. DC motor sounds were recorded at four different voltage levels: 12V, 10V, 8V and 5V.

In order to expand the data set, 300 recordings of 3 seconds duration were taken for each condition. The microphone was kept at a fixed distance from each motor to ensure a smooth and balanced data set. While creating the dataset, the training of the deep learning model was taken into consideration and diversity in the audio recordings was emphasized. Cakewalk SonarX1 LE, an audio workspace, was used with the microphone.

The preprocessing phase consists of 5 steps: data augmentation, data labeling, file organization, splitting the dataset into training, validation and test sets, and feature extraction. In the data augmentation part, the data is artificially augmented to avoid data overfitting. Time-shifting, noise addition, pitch-shifting, and time-stretching are applied to this audio data. In the file organization and data labeling stage, file paths are collected, labels are created, and label encoding is performed. The dataset is divided into three parts: training, validation, and test. This allows us to test the model objectively. Raw audio data is not in a suitable form to be given as input to the CNN model. The raw audio data is first transformed into a Mel Spectrogram. The spectrogram transformation provided a time-frequency representation of the audio signals, highlighting important acoustic features such as frequency peaks, patterns and changes over time. An example of a spectrogram is presented in Figure 4. Power values in the spectrogram are converted to decibel units. Normalization, dimension fixing and channel insertion are performed to complete the feature extraction phase.

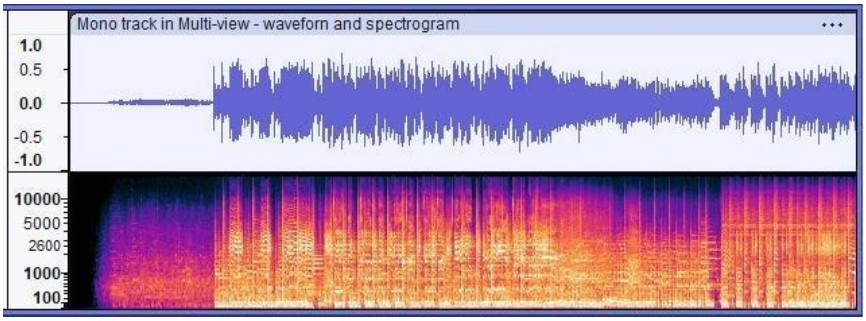


Figure 4. Example of Spectrogram [7]

2.3 Software Design

Convolutional Neural Network (CNN) was chosen as a deep learning model due to its effectiveness in computer vision and image processing tasks and their success in signal processing applications.

CNNs consist of several interconnected layers, each of which plays an important role in the learning process. Convolutional layers detect spatial and temporal patterns by applying filters, while activation layers introduce nonlinearity to enhance feature representation. Due to this structural composition, CNNs are particularly suitable for analyzing damage signals in motor sound data. By leveraging their advanced feature extraction capabilities, CNNs can effectively discriminate between different fault patterns and provide accurate fault classification. The general CNN architecture is shown in Figure 5.

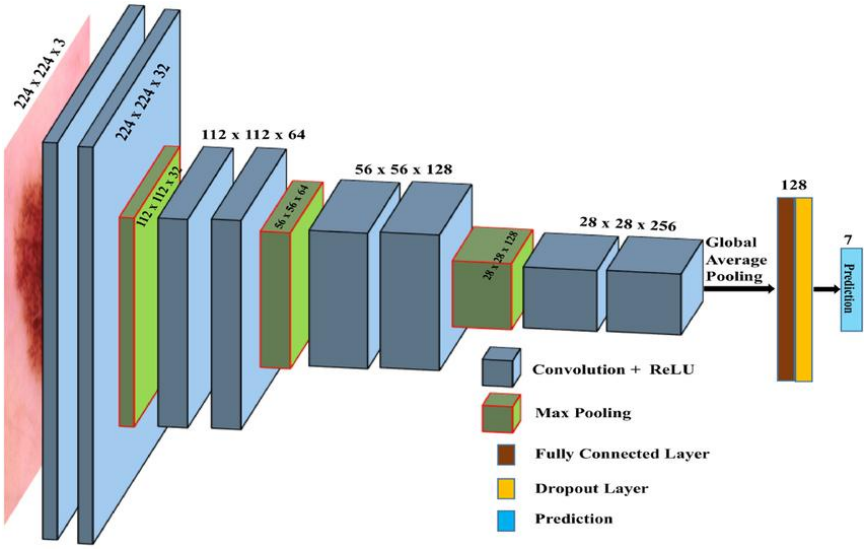


Figure 5. Structure of CNN Model [8]

In this study, CNN architecture is written in Python using the VS Code Integrated Development Environment (IDE). The layers of the designed architecture consist of a feature extraction block, a classification block and compilation. The feature extraction block is the cornerstone of the architecture. First, the convolution layer, which is the brain of architecture, is created. Local patterns are detected by traversing the spectrogram. With batch normalization, the output of the previous layer is normalized, which stabilizes the training process. The pooling layer shrinks the feature map, and dropout prevents overlearning. In the classification block, Flatten converts the feature map from the previous block into a one-dimensional vector. The features extracted with full connectivity are combined to learn the patterns to distinguish between classes, and then dropout is applied. The final layer of the model, the dense layer, performs the final classification and produces the predictions. In the model compilation phase, it is determined how the model will be structured for training. The optimizer updates the model weights based on the loss values. The accuracy metric tracks the model's performance during training and indicates when the training phase is complete. Figure 6 shows the layers of the designed architecture of CNN model.

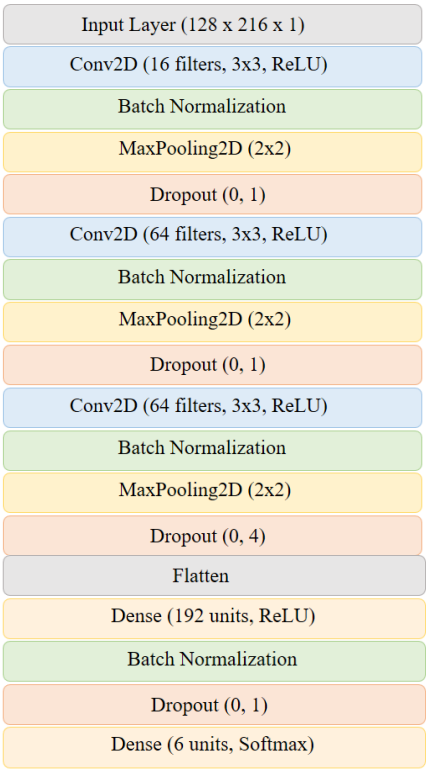


Figure 6. Layers of the Designed Architecture of CNN

During the website design phase, React, a basic JavaScript library, was used to create the user interface in frontend development. IntelliJ IDEA was preferred as an Integrated Development Environment (IDE). In the backend development phase, the stages were completed by embedding the trained model into the website. Figure 7 shows the website design.

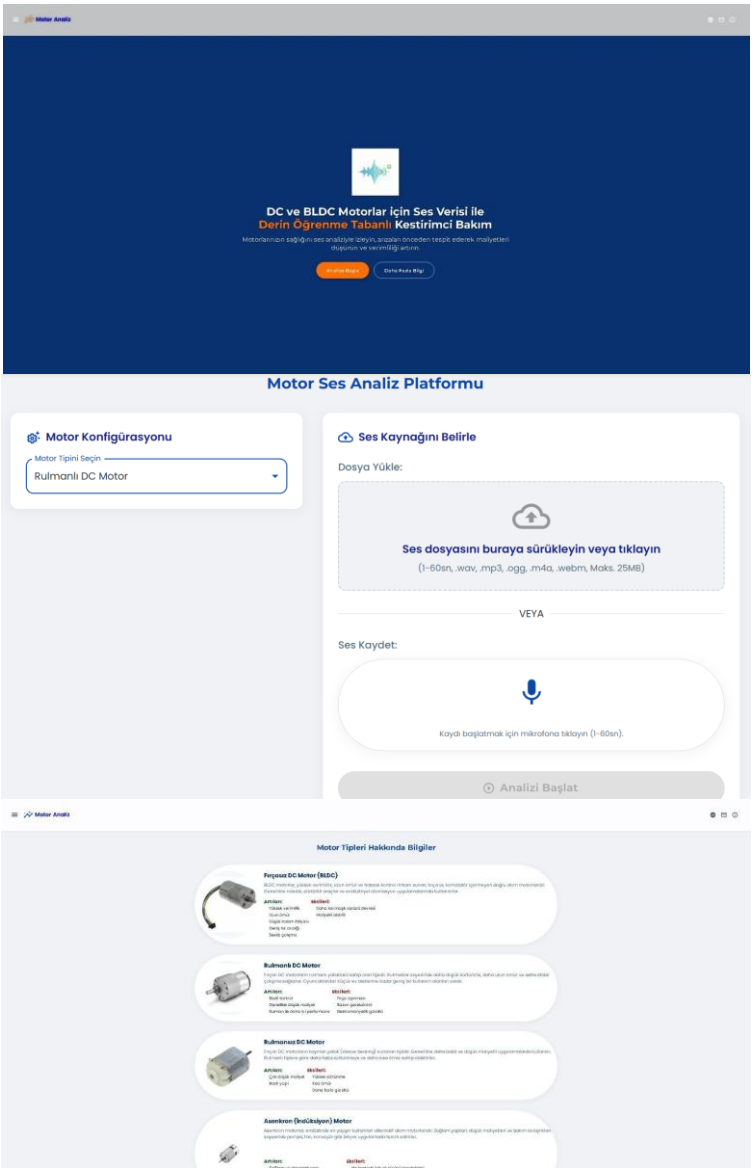


Figure 7. Website Design

3 RESULTS AND DISCUSSION

The waveform graph presents the amplitude change of the sound over time. In a healthy motor waveform graph, the waveform is periodic and stable. This operating pattern indicates a healthy motor. In the failure motor waveform graph, the waveform appears chaotic and irregular, with sudden amplitude fluctuations. The obvious difference between the two signals demonstrates that even basic time series characteristics, such as mean and standard deviation, can be useful for classification. The waveform plots for the healthy and faulty motors are presented in Figure 8.

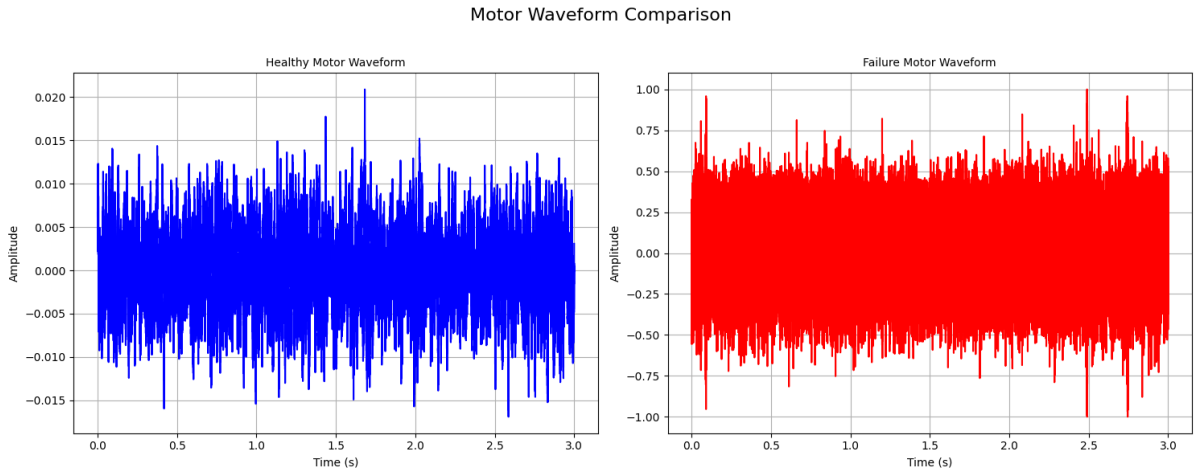


Figure 8. Waveform Graph of Healthy and Faulty Motor Sound

The Mel spectrogram shows the variation of sound and frequency over time. The healthy DC motor spectrogram presents stable lines. These lines represent the operating frequency and harmonics of the motor. The graph also indicates that the random noise level is low. This represents a healthy signal. In a faulty DC motor spectrogram, the background noise is high, and the energy components are dense. Harmonic lines are scattered and indistinct. In the frequency domain, the difference between the two classes is clearly observable. These differences are the distinguishing features that the deep learning model can capture, thereby making the model's training more successful. Figure 9 shows the mel spectrogram.

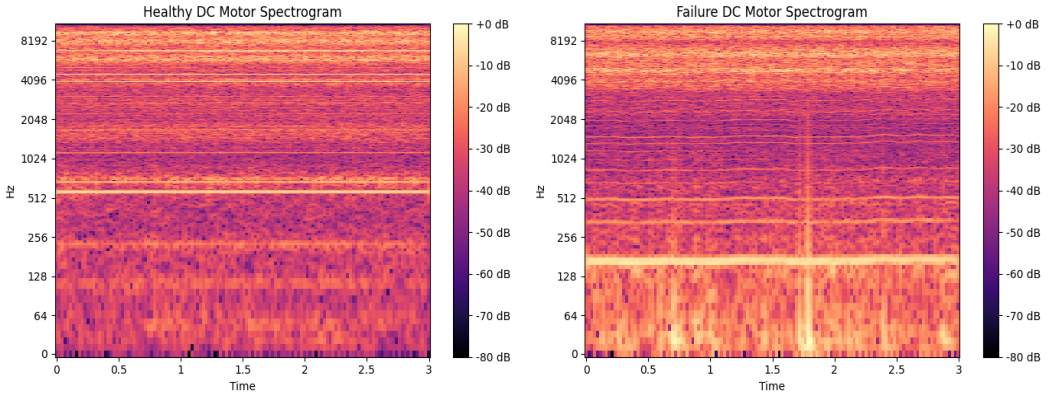


Figure 9. Mel Spectrogram of Healthy and Faulty DC Motor

The t-SNE visualization is the graph that provides the clearest information about the study's success. The purpose of this graph is to observe whether the classes naturally diverge. Green labels represent healthy data, and red labels represent failure data. There is very little overlap between the clusters, and they are clearly separated into two distinct clusters. This indicates that the model's learning difficulty is very low. Figure 10 shows the t-SNE plot of the entire dataset.

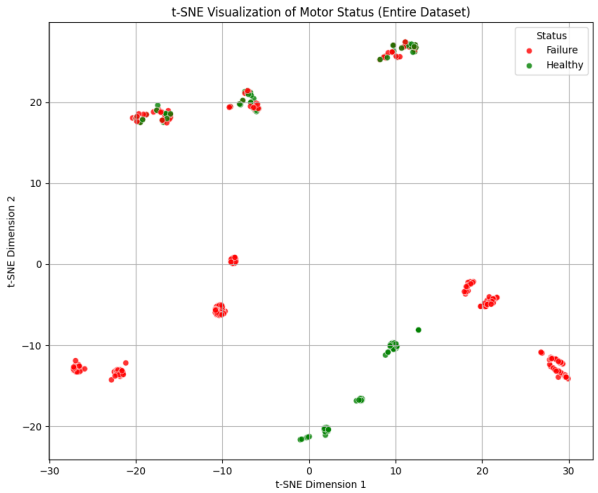


Figure 10. t-SNE Plot of Entire Dataset

The website was tested and successfully performed real-time fault classification with minimal delay. Users could record motor sounds, upload ready recordings, and receive health status feedback directly from the website interface. Figure 11 shows the analysis screen of the website

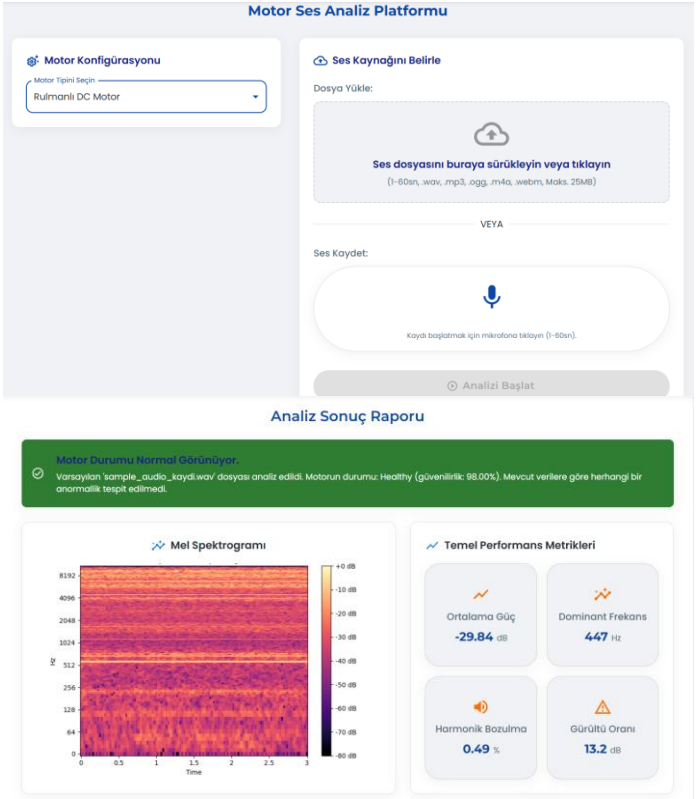


Figure 11. Website Analysis Screen

4 CONCLUSIONS

This paper focuses on the design of a predictive maintenance system using deep learning. The dataset created for the system consists of audio recordings of DC motor with bearings, DC motor without bearings and BLDC motor. The CNN model was trained with the engine sound dataset and it was observed that it was able to make successful predictions as a result of the tests. In the website design phase, frontend design was done using react and backend design was done using fastAPI. The trained model was embedded into the designed website. When the website was tested, it was observed that the data report screen worked successfully and average power, dominant frequency, harmonic distortion, noise ratio values were calculated over the uploaded data. The mel spectrogram of the uploaded data can also be examined on the report screen. It is shown that more accurate and faster results can be obtained in maintenance by supporting the system with deep learning. As a result, the developed system has shown that the need for hardware and human intervention in predictive maintenance can be reduced. The study is structurally open to further development and integration and aims to make valuable contributions to education and research in predictive maintenance.

ACKNOWLEDGE

This work is supported by the Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK) under 2209A – Research Project Support Program for Undergraduate Students with project number 1919B012418159.

REFERENCES

1. YURDAKUL, Mustafa; TASDEMIR, Sakir. Acoustic signal analysis with deep neural network for detecting fault diagnosis in industrial machines. *arXiv preprint arXiv:2312.01062*, 2023.
2. Öztanır, Olcay. "Makine öğrenmesi kullanılarak kestirimci bakım." (2018).
3. https://www.retmes.com/en/kestirimci-bakim
(Available on 14.06.2025)
4. der Mauer, Matthias Auf, et al. "Applying sound-based analysis at porsche production: Towards predictive maintenance of production machines using deep learning and internet-of-things technology." *Digitalization cases: How organizations rethink their business for the digital age* (2019): 79-97.
5. Aradi, Attila, and Attila Karoly Varga. "Enhancing Predictive Maintenance in Industrial Systems Through Acoustic Monitoring of Servo Motors Using Machine Learning (AI)." *International Conference on Intelligent and Fuzzy Systems*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024.
6. Di Fiore, Emanuele, et al. "An anomalous sound detection methodology for predictive maintenance." *Expert Systems with Applications* 209 (2022): 118324.
7. https://manual.audacityteam.org/man/spectrogram_view.html
(Available on 12.06.2025)

8. https://www.researchgate.net/publication/373296552/figure/fig3/AS:11431281202733239@1698984617580/Structure-of-the-proposed-lightweight-CNN-model-CNN-convolutional-neural-network.png
(Available on 12.06.2025)

LIQUID LEVEL CONTROL OF PROCESS CONTROL SETUP VIA TIA PORTAL WITH OPC UA AND SIMULINK MONITORING

Beray YILMAZ
İzmir Katip Çelebi University
berayyilmaz18@gmail.com - 0009-0008-0821-1204

Mehmet Uğur SOYDEMİR
İzmir Katip Çelebi University
soydemirmehmetugur@gmail.com - 0000-0002-2327-1642

Savaş ŞAHİN
İzmir Katip Çelebi University
sahin.savas@yahoo.com - 0000-0003-2065-6907

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of an Industry 4.0-compatible process control setup developed for liquid level control applications, contributing to the United Nations Sustainable Development Goal of Industry, Innovation and Infrastructure. The designed setup consists of tanks, industrial sensors, valves, a pump, and a Siemens SIMATIC S7-1500 Programmable Logic Controller (PLC). After the system is installed, a PLC program for liquid level control is written in the Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal). According to the program, the PLC continuously samples the analog signals from the liquid level sensor installed on the central tank and compares the measured values with a user-defined setpoint. It then computes the tracking error and generates corrective output signals to the pump using a built-in Proportional-Integral-Derivative (PID) controller. The liquid level in the central tank, obtained after applying the PID controller, is evaluated in terms of performance criteria, including overall error, settling time, and percentage overshoot. The Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) communication protocol is used to ensure data exchange between the PLC and the Simulink environment, allowing for simultaneous monitoring and analysis of the liquid level and control signal. The combination of TIA Portal-based programming, OPC UA communication and Simulink monitoring provides a scalable system infrastructure that can be used for both educational and research purposes in the fields of industrial automation and process control.

Keywords: PLC, Level Control, PID, OPC UA.

1. INTRODUCTION

Process control systems, as one of the principal keys of modern production and automation technologies, hold a broad place in both academic and industrial applications. With the growing complexity of industrial processes, the improvement of control systems' efficiency is more important than ever in terms of improved quality and cost reduction. Meanwhile, the constant performance of processes aimed at pursuing efficiency and sustainability targets is critical from the point of view of boosting the competitiveness of enterprises [1, 2]. Under these circumstances, the research and applications of process control systems have become an academic hot issue in recent years. This finding highlights the necessity for improving the training procedures and application methods. For these training and use processes to be effective at the plant level of process control systems, consideration must also be given to the technical expectations that have a direct bearing on the way in which the plant operates. Systems of this kind cannot be guaranteed to operate as intended based on appropriate control algorithms; instead, reliable, complete data exchange is necessary for controllers and other external systems. Such communication infrastructure is capable of supporting simultaneous monitoring, fast, and reliable activation of central controls in decision-making procedures [3].

Whereas, as liquid level control is a commonly emerging application in fields of chemistry, foodstuff, water treatment, and power generation, the PLC-based control technology and industry-standard software for this field are also frequently employed in academic research and practical engineering. PID controllers are the most widely used controllers because of their simple configuration and easy tuning that yield stable control by balancing system response [4].

Literature presents various studies, which introduce many strategies for maintaining and stabilizing volumes of fluid levels in the tanks. In one case, a PID controller was designed in standard form using Siemens TIA Portal and tested in the FACTORY I/O environment on a virtual tank model. This experiment was performed to investigate the performance of the system under different conditions [5]. Another research presented a PID-based level control system constructed with the PLC and TIA Portal for the purpose of hands-on training. The system also featured monitoring levels in real time using sensors and control of the pumps through analog outputs. PID tuning was carried out in TIA Portal for stable control at setpoint. The authors emphasized helping students to understand and master basic automation and control knowledge, asserting that the PLC-based platforms had great significance [6].

Another method suggested a fractional order PID controller for systems with global tank configurations. In contrast with the classical configuration, this setup provides more tuning freedom and it has been proven to perform better in nonlinear and time-delay situations [7]. These investigations together demonstrate that different control techniques could be used for liquid-level control and provide evidence in support of their use in both academia and industry.

This study presents a liquid level control system developed using Siemens S7-1500 PLC and TIA Portal software with an education and practical application-oriented approach. The system consists

of a main tank, a pump, and an electromechanical valve mechanism, and the liquid level is regulated by a PID control algorithm based on data from the level sensor. Within the control structure created in the TIA Portal environment, system variables are transferred to the MATLAB/Simulink environment via OPC UA using the KepServerEX software, and the control behavior can be monitored sequentially [8, 9]. With this study, a functional and educational level control platform for process automation has been created through the integrated use of software and hardware components.

The sections related to this study are as follows: Section 2 presents the hardware and software design of the overall system. Section 3 provides the results and discussion. Section 4 concludes the study and offers suggestions for future work.

2. MATERIALS AND METHODS

The designed system consists of a process control setup including a main tank, a filling tank, and two side tanks. Siemens SIMATIC S7-1500 PLC is used as the controller, and the system is programmed via TIA Portal. Level sensors, valves, and a pump are integrated into the setup to control the liquid level.

2.1. Hardware Design

The hardware infrastructure used in this study comprises a process control system designed for liquid level control. The system consists of four tanks: a main tank, a filling tank and two side tanks. A pump and three electromechanical valves are used for the controlled transfer of liquid between these tanks. There is one analog level sensor on the main tank, and digital limit sensors are used for detecting the maximum and minimum liquid levels. Siemens SIMATIC S7-1500 PLC is used as the control unit. The connections between the PLC and the field elements (sensors, valves, pump) are realized through field-type relays and appropriate terminal blocks. Pump and valve outputs are switched via relays, as PLC outputs cannot be directly driven to control electromechanical loads. Relays are triggered by the digital outputs of the PLC and provide power to the actuators, which operate at 24V DC on the load side. Considering the power distribution in the system, the 220V AC city network was converted to 24V DC via an industrial power supply. This 24V DC line is used both to supply the PLC and to energize the field elements. The 4-20 mA signal from the analog level sensor was connected to the PLC's analog input module and read. The analog signals are then scaled to the appropriate range by the software and used as input to the control algorithm.

2.1.1. PLC

PLC is a control device used in industrial automation systems. PLCs read data from sensors, make decisions based on this data, and perform specified operations by controlling connected devices

(motors, valves, heaters, etc.). In this study, the Siemens SIMATIC S7-1500 model PLC was used (Figure 1), and its components were controlled by performing the necessary programming using the TIA Portal application, a dedicated software platform for PLC configuration and programming.



Figure 1: Siemens S7-1500 PLC [10].

2.1.2. Two-Way Solenoid Valve

A two-way solenoid valve (Figure 2) was used to control the flow of liquid by opening or closing the pipeline in response to an electrical signal. This valve operates based on an electric current, allowing for on-off control of the liquid flow.



Figure 2: SMC-VXE2320-02F-5D1-B Two-Way Solenoid Valve [11].

2.1.3. Inline Pump

An inline pump (Figure 3) was used in the study to ensure the movement of liquid between tanks through the pipeline. It operated to either increase the flow rate or direct the liquid toward a specific tank, supporting the regulation of level and flow within the system.



Figure 3: TMC-0430107 Inline Pump [12].

2.2. Software Design

The software part of the system was developed using Siemens TIA Portal, and control operations were carried out on a SIMATIC S7-1500 PLC. Analog and digital data received from sensors measuring the liquid level were processed, and output signals were generated to control the pump and valves based on this data.

2.2.1. TIA Portal

In the TIA Portal environment, the entire automation structure for liquid level control has been programmed using the Siemens SIMATIC S7-1500 PLC. First, the 4–20 mA current signal from the analog level sensor is connected to the PLC's analog input module. This signal is normalized within the TIA Portal. The setpoint value is defined as a fixed value in memory and connected as the second input to the PID block. The PID block (Figure 4) generates a control output, which is converted from the 0.0–1.0 range to the 0–24 V range. This output value is sent to the pump via the PLC's analog output module. The programming logic was implemented using Ladder Diagram (LD) language, and all signal addresses were defined in the %MW, %MD, and %M regions. The %IW area was used for analog input, the %QW area for analog output, and digital I/O was configured in the %I and %Q areas. Thus, through all programming operations performed via TIA Portal, a fully compatible, reliable, and real-time control infrastructure was established between the level sensors, pump, and valves in the system.

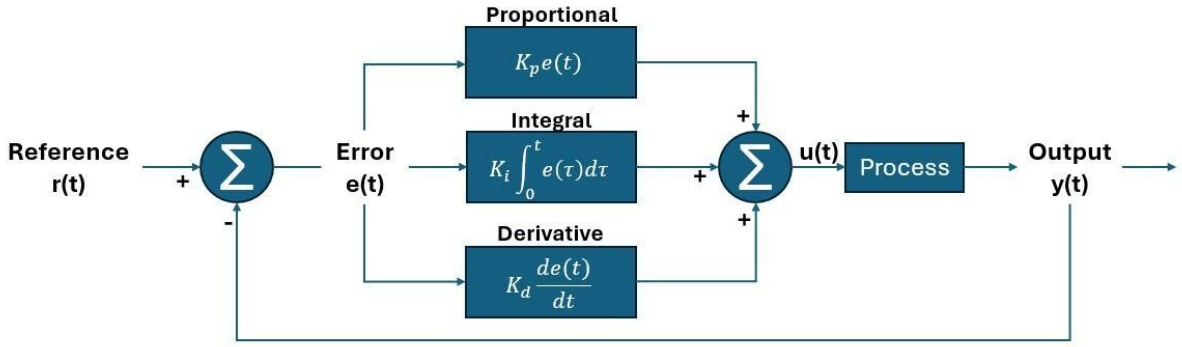


Figure 4: Block Diagram of PID Controller.

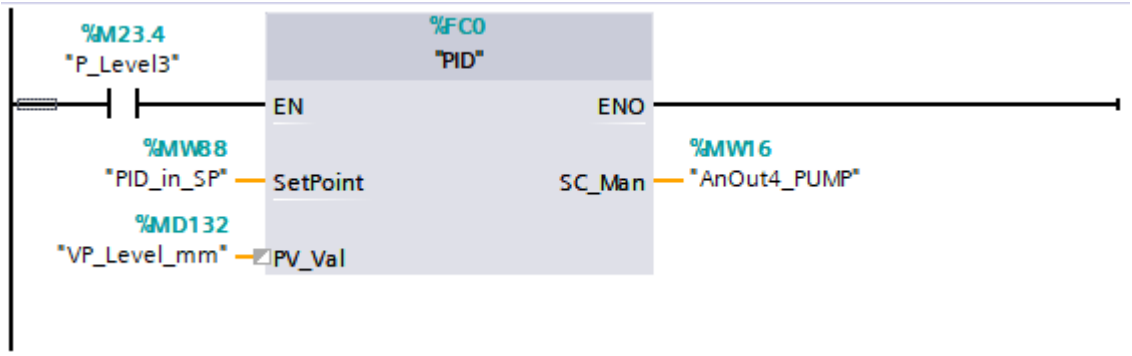


Figure 5: PID control block structure created in TIA Portal.

2.2.2 OPC UA

OPC UA was used as the communication protocol for monitoring and visualizing data in the system. Analog and digital variables defined in the Siemens SIMATIC S7-1500 PLC were configured under Global DB structures so that OPC UA Clients could access them. KepServerEX has been used as the interface for data sharing. A general representation of this communication structure, including the PLC, OPC UA server, and MATLAB-based PID controller, is illustrated in Figure 6. All input/output and internal variables defined in TIA Portal have been introduced to the channel and device structures belonging to the Siemens S7-1500 driver created within KepServer. Here, the PLC's IP address and rack/slot information have been entered, and data tags have been manually added along with their addresses. This configuration process and the tag interface can be seen in Figure 7. Through this structure, real-time data from the PLC can now be published to OPC UA clients via KepServer.

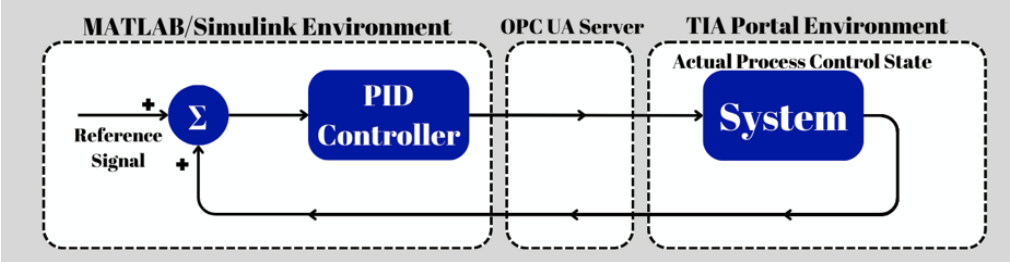


Figure 6: Representative OPC UA Diagram.

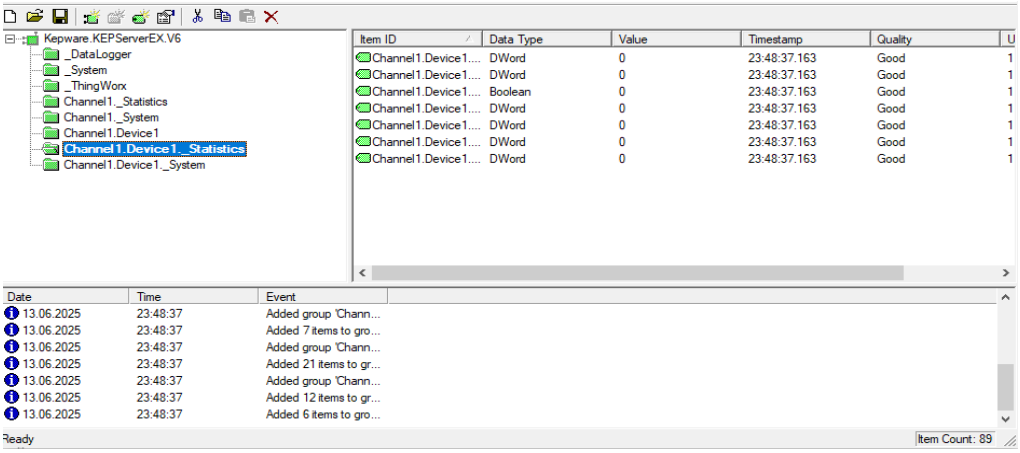


Figure 7: KepServerEX Interface.

2.2.3. MATLAB/Simulink

Simulink was used in the project to monitor and evaluate the level control system in real time. Data published by the PLC via the OPC UA protocol through KepServerEX was acquired in the Simulink environment using OPC UA Read blocks. System variables, including setpoint, process value, and control signal, were transferred to Simulink in real-time through these blocks. This structure is illustrated in Figure 8, which shows how the data flow from the PLC is visualized and processed within the Simulink environment. The visualization process was performed using a MATLAB Function block in Simulink. The graph drawing codes defined within this block plotted the setpoint, process value, and control signal on a single axis over time, thereby making the system's dynamic response more readable and analyzable.

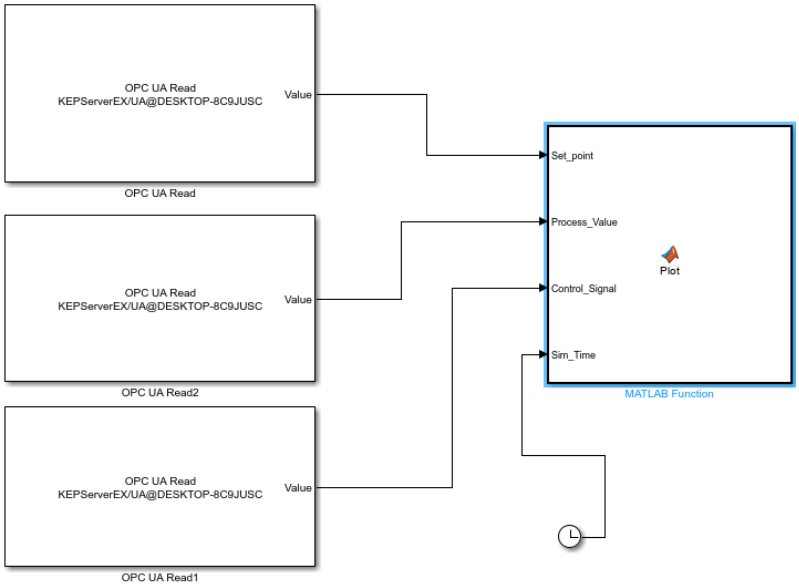


Figure 8: Real-time graphing of data acquired via OPC UA in the Simulink environment using the MATLAB Function block.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The performance of the applied PID-based liquid level control system was monitored and evaluated sequentially using the Simulink environment. Figure 9 illustrates the dynamic response of the system on two separate axes, the upper and lower graphs. The upper graph shows the process of the system reaching the target value of 90 mm reference level and the behavior of the measured liquid level (process value). The lower graph shows the control signal (pump voltage) applied to the system over time.

Upon examining the graph, it is observed that the liquid level initially increases and reaches the target value of 90 mm at approximately 100 seconds. After reaching the target, the level remains stable without any oscillation. Upon analyzing the system's behavior, calculations revealed that the maximum overshoot ratio was 0.2638%. This very low value indicates that the control algorithm operates with high stability and sensitivity.

When analyzing the control signal in the lower graph, it is observed that the system initially operates the pump at approximately 23V, close to full capacity. When the level reaches the target, the control signal drops rapidly, and the output is completely cut off, stopping the pump. This behavior indicates that the PID controller is correctly tuned and the system prevents unnecessary energy consumption after reaching the target value.

The PID parameters were determined based on the system's rise time, target accuracy, and overall control response, as determined through tests conducted in the Simulink environment. Through

trial-and-error and observation-based adjustments, the PID gains were determined as follows: Kp = 2.5, Ki = 0.02, Kd = 0.2. These values were entered into the controller block in the TIA Portal environment to ensure the system responds quickly, reaches a stable state rapidly, and operates with minimal error.

As a result, the evaluations made through Figure 9 demonstrate that the fixed-gain PID control structure provides effective and reliable results in a process requiring continuity, such as liquid level control. The obtained data show that the controller does not overreact, manages the transient regime smoothly, and can maintain the desired value in the steady-state regime. This structure offers a highly applicable, user-friendly, and efficient solution for both educational environments and small-scale industrial systems.

.

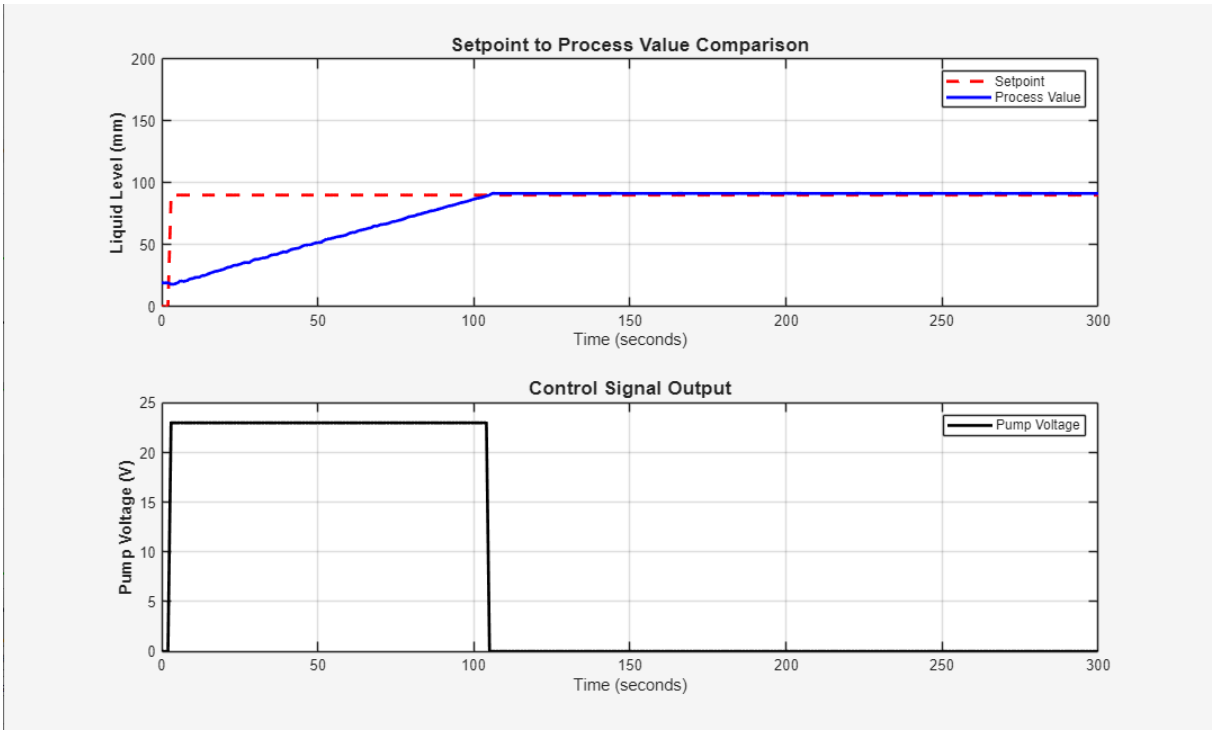


Figure 9: Comparison of setpoint and process value, along with the PID controller output.

4. CONCLUSION

In this study, the design, implementation, and evaluation of a liquid level control system using a Siemens SIMATIC S7-1500 PLC was carried out. Within the scope of the control algorithm created using TIA Portal software, the analog level sensor data in the system was scaled appropriately and a control output was generated via a PID controller configured with fixed gains. This output signal was converted to a 0–24 V range for pump control and transmitted via an analog output module. The system ensured effective management of the pump in conjunction with the valves. On the hardware side, a reliable and secure automation infrastructure was established, supported by level

sensors, electromechanical valves, relay modules, signal isolators, a 24V industrial power supply, and appropriate fuses and grounding measures. This structure enhanced both control safety and system stability.

Through the OPC UA communication infrastructure established using KepServerEX, data obtained from the PLC was transferred in real-time to the Simulink environment, where system monitoring and analysis were conducted. The graphical results obtained show that the system reached the target level of 90 mm in approximately 100 seconds and that a very low overshoot of 0.2638% was observed during this process. No oscillation or instability occurred during the transition or steady state. When the target level was reached, the control signal was set to zero, and the pump was stopped to maintain the system in a balanced state. Overall, the developed system offers a suitable platform for industrial process control applications with its monitorable, safe, and scalable structure, and can be effectively used in both educational environments and R&D studies.

ACKNOWLEDGE

This work is supported by the Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK) under 2209A – Research Project Support Program for Undergraduate Students with project number 1919B012307038.

REFERENCES

1. Kano, M., & Nakagawa, Y., *Data-based process monitoring, process control, and quality improvement: Recent developments and applications in steel industry*, Computers & Chemical Engineering, 32(1–2), pp. 12–24, 2007.

2. Chai, T., Qin, S.J., & Wang, H., *Optimal operational control for complex industrial processes*, Annual Reviews in Control, 38(1), 81–92, 2014.

3. Wollschlaeger, M., Sauter, T., & Jasperneite, J., *The Future of Industrial Communication: Automation networks in the era of the internet of things and Industry 4.0*, IEEE Industrial Electronics Magazine, 11(1), pp. 17–27, 2017.

4. Chen, L., *Principle and Simulation PID Controller of Liquid Level System*, Journal of Physics: Conference Series, 1757(1), 012187, 2021.

5. Alaameri, K. J., Ramadhan, A. J., Maklakov, A. S., and Gasiyarov, V. R., *Design of PID controller for liquid level in tanks using TIA Portal and FACTORY I/O programs*, AIP Conference Proceedings, 2977, 020103, 2023.

6. Kieczmerski, P., *Application of SIMATIC S7-1200 controllers for the water level control system in water reservoirs*, Przegląd Elektrotechniczny, 1(10), pp. 25–29, 2022.

7. Sundaravadivu, K., Arun, B., & Saravanan, K., *Design of Fractional Order PID controller for liquid level control of spherical tank*, IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering, pp. 291–295, 2011.

8. Zerk, A. E., Ouassaid, M., & Zidani, Y., *Development of a real-time framework between MATLAB and PLC through OPC-UA: A case study of a microgrid energy management system*, Scientific African, 21, e01846, 2023.

9. Leitner, S., & Mahnke, W., *OPC UA – Service-oriented Architecture for Industrial Applications*, Softwaretechnik-Trends, 26(4), 2006.

10. *"Siemens Siplus S7-1500 Series PLC CPU – 6AG1518-4AX00-4AC0."* RS Online, https://tr.rsdelivers.com/product/siemens/6ag1518-4ax00-4ac0/siemens-siplus-s7-1500-series-plc-cpu-for-use-with/2433939.
Accessed 16 June 2025.

11. *"VXE Series 2/2 Port Solenoid Valve."* SMC Pneumatics, https://www.smcpneumatics.com/pdfs/VXE.pdf.
Accessed 16 June 2025.

12. *"In-line Pump – TMC 0430107."* TMC International, https://www.tmcint.com/en/product-281980/In-line-Pump-TMC-0430107.html.
Accessed 16 June 2025.

RUMİNANTLARDA KULAK POZİSYONLARININ REFAH AÇISINDAN ÖNEMİ

Şeniz ÖZİŞ ALTINÇEKİÇ

Assoc.Prof.Dr., Bursa Uludag University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Bursa-Türkiye
seniz@uludag.edu.tr, **(**Responsible Author) ORCID: 0000-0001-9044-8092, +90 5056174988

Funda ERDOĞAN ATAÇ

Assoc.Prof.Dr., Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, İzmir-Türkiye funda.erdogan.atac@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6681-212X, +90 5353020516

Özet

Ruminantlar sosyal hayvanlar olup çevreleriyle etkileşimlerinde vücut dilinin önemli bir yer tuttuğu hayvanlardır. Bu davranışsal sinyallerin başında ise kulak hareketleri yer alır. Kulak pozisyonu, ruminantların çevresel uyaranlara nasıl tepki verdiklerini ve genel sağlık durumlarını anlamak için kritik ipuçları sunar. Bu nedenle hem kulak duruşları hem de kulak duruşu değişikliklerinin sıklığı, ruminantlarda çoğunlukla pozitif duyguların potansiyel göstergeleri olarak değerlendirilmiş ve uygulanabilir, invaziv olmayan ve umut vadeden pozitif refah göstergeleri olarak önerilmiştir. Bu derlemede, ruminantlarda kulak pozisyonları, bu pozisyonların ne anlama geldiği ve refahlarını değerlendirmede nasıl kullanılacağı güncel lieratürlerle ele alınmıştır.

Anahtar sözcükler: Koyun, keçi, inek, refah, davranış, sağlık

IMPORTANCE for WELFARE of EAR POSITION in RUMINANTS

Abstract

Ruminants are social animals, and body language plays an important role in their interactions with their environment. One of the most important of these behavioral signals is ear movements. Ear position provides critical clues to understand how ruminants respond to environmental stimuli and their overall health status. Therefore, both ear postures and the frequency of ear posture changes have often been considered as potential indicators of positive emotions in ruminants and proposed as feasible, non-invasive, and promising positive welfare indicators. In this review, ear positions in ruminants, what they mean, and how they can be used to assess their welfare are discussed with current literature.

Keywords: Sheep, goat, cow, welfare, behavior, health

GİRİŞ

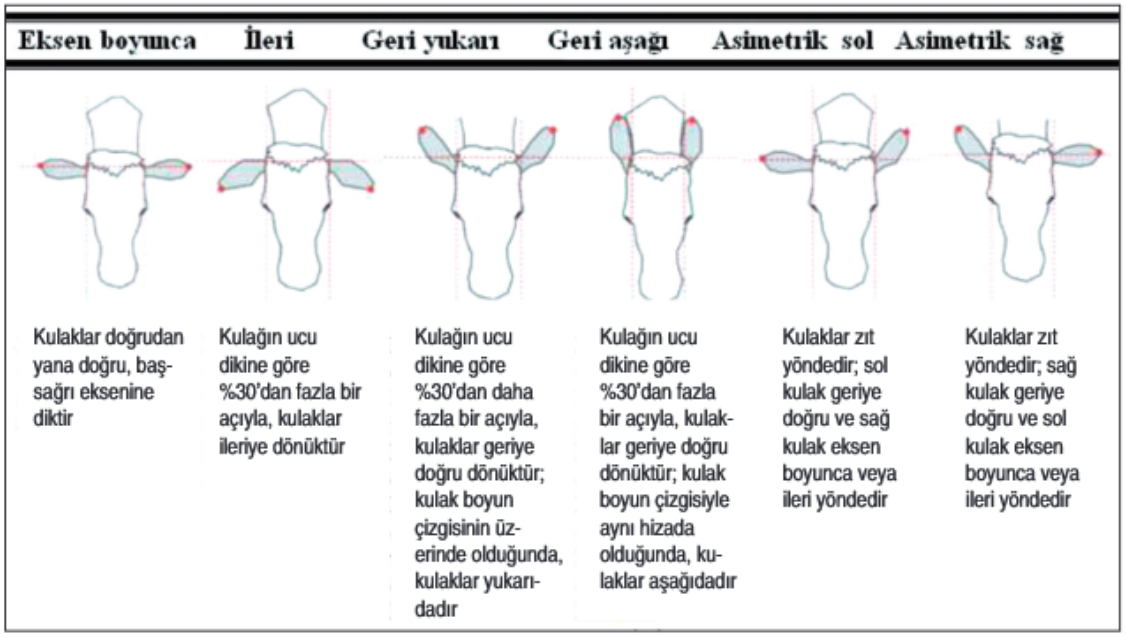
Duyguların ruminantların yaşamının önemli unsurları olduğu küresel olarak kabul edilmektedir. Duygular, ifade edilen davranışların sürekliliği ve bilinçsiz uyaran değerlendirme mekanizmaları ile karakterize edilen bir olaya verilen kısa ömürlü ve yoğun tepkiler olarak tanımlanabilir (Fox 2008). Korku ve kaygı gibi duyguların hayvanların davranışları, sağlıkları ve refahları üzerinde büyük etkileri olabildiğinden duygular büyük ölçüde hayvan refahı konularının temel unsurudur. Diğer yandan çiftlik hayvanlarında iyi refahın sadece olumsuz deneyimlerin yokluğu olmadığı, bunun yerine öncelikle zevk gibi olumlu deneyimlerin varlığı olduğu artık yaygın olarak kabul edilmektedir (Boissy ve ark. 2007). Bununla birlikte, duyguların güvenilir bir şekilde yorumlanabilmesi için uygun göstergelere ihtiyaç vardır. Bu bakımdan insanlardaki yüz ifadelerine benzer davranışsal duruşların mevcudiyeti, duygularla ilgili hayvan çalışmaları için son derece değerlidir (Boissy ve ark. 2011). Çünkü hayvanların duygusal durumlarını nasıl ilettiklerini veya çevreyle nasıl başa çıktıklarının anlaşılması, çiftlikte daha iyi bir yaşam kalitesi ve yüksek refah seviyeleri sağlamak için önemlidir (Descovich ve ark. 2017). Ancak davranışların da hayvanın duygusal durumundan etkilendiği ve vücut duruşundaki değişikliklerin bu içsel durumun dışsal bir göstergesi olabileceği bilinmektedir (de Oliveira ve Keeling 2018). Dolayısıyla duygular bireyin çeşitli uyaranlara, durumlara veya beklentilere verdiği tepkilerden kaynaklandığı için hayvanların duygusal durumlarının nesnel olarak değerlendirilmesi bilimsel olarak zordur (Botreau ve ark. 2007). Duygusal durumlardaki değişiklikler değerlik olarak negatif-pozitif şeklinde, uyarılma olarak ise düşük-yüksek şeklinde değerlendirilir (Posner ve ark. 2005). Ayrıca, bu değerlendirmeler hayvanlarda öznel, bilişsel, fizyolojik ve davranışsal tepkilerle de örtüşebilirler (Desire ve ark. 2006).

Dolayısıyla bulunduğu ortamda rahat olan hayvanlarda vücut duruşlarındaki varyasyonun daha iyi anlaşılması, çiftlikte refah değerlendirmesinin daha kolay ve uygulanabilir olması açısından önemlidir (Blokhuis ve ark. 2010). Temel sorun, hayvanlarda pozitif ve negatif duygusal durumların nasıl ayırt edileceğidir (Boissy ve ark. 2007). Özellikle olumsuz duygusal durumlar, genellikle hayatta kalmayı ve sağlığı doğrudan tehdit ettikleri için daha anlık tepkiler gerektirirken olumlu uyaranlara verilen bireysel tepkiler daha fazla değişkenlik gösterir (Fraser ve Duncan 1998). Bu nedenle, pozitif duyguların belirlenmesinde bireylerin tamamı veya en azından çoğunluğu tarafından her zaman pozitif olarak algılanan ve güvenilir bir şekilde ölçülebilir bir tepki

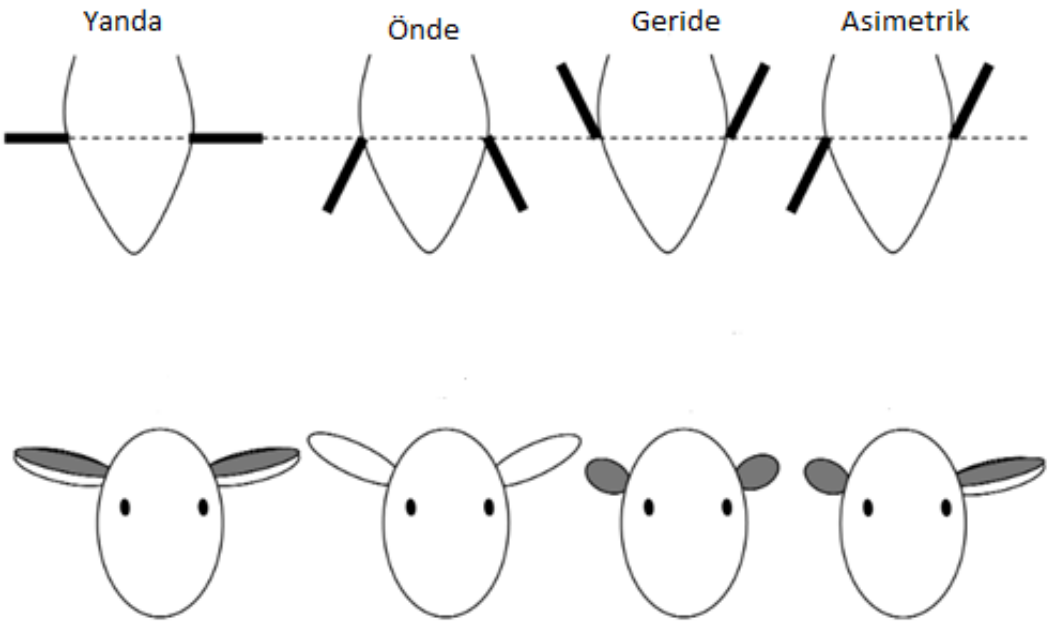
ortaya çıkaran bir uyarıcının bulunması önemlidir (Papageorgiou ve Simitzis 2023). Hopkins ve ark. (2011) yüz ifadelerinin, hayvanın psikolojik durumunun daha tepkisel ve doğru bir tasviri olduğunu bildirmişlerdir. Kulak duruşları da yüz ifadeleri olarak kategorize edilir çünkü kulağın pozisyonu hayvanın yüz kasları tarafından kontrol edilir. Wathan ve McComb (2014) ruminantlarda kulak pozisyonlarının hem sosyal iletişim hem de hayvanın ruhsal durumu için önemli bir gösterge olduğunu bildirmişlerdir. Chan ve ark. (2007) ile Reefmann ve ark. (2009) da duyguların ve acının göstergesi olan kulak pozisyonlarının, kalp atış hızı veya glukokortikoidler gibi fiziksel aktiviteden veya günlük fizyolojik dalgalanmalardan etkilenmemesi nedeniyle refah değerlendirmesi için bir araç olarak fizyolojik ölçümlerden daha avantajlı olduğunu bildirmişlerdir. Bir başka ifadeyle, duyguların invazif olmayan bir şekilde ölçülebilmesi, hayvanların refahını iyileştirmeyi amaçlayan müdahalelerin sonuçlarına ilişkin değerli bilgiler sağladığından, hayvan refahı değerlendirmesinde merkezi bir rol oynamaktadır (Cannas ve ark. 2018). Bu bağlamda çiftlik hayvanlarında belirli duygularla ilgili kulak duruşlarının gözlemlenmesi, hayvanlarda duygusal durumları değerlendirmek için güvenilir bir non-invaziv yöntemdir (Boissy ve ark. 2011; Vögeli ve ark. 2014; Hussein ve Hidayet 2019).

Ruminantlarda Kulak Pozisyonları

Hayvanlar duygularını iletmek için karmaşık bir dizi vücut duruşu ve yüz ifadesi kullanırlar. Özellikle kulak duruşları, sosyal iletişimde ve içsel durumları ifade etmek için çok çeşitli çiftlik hayvanları tarafından büyük ölçüde benimsenmiştir (Lambert ve Carder 2019). Geviş getiren hayvanlar kulaklarının etrafında oldukça gelişmiş kaslara sahip olduklarından kulaklarını bağımsız olarak birçok farklı şekilde hareket ettirebilmektedirler (Reefmann ve ark. 2009a). Kulak duruşları, türe bağlı olarak farklı duyguları ifade ettiğinden türe özgü bilgilere ulaşmak önemlidir (Proctor ve Carder 2014). Genel olarak kulakların duruşu ileriye doğruysa yani kulak ucu ileriyi gösterirken kulağın üst kısmının ön düzlemin önünde olduğu, tersine geriye dönükse yani kulak ucu geriye doğru bakarken kulağın üst kısmının ön düzlemin arkasında olduğu anlamına gelmektedir. Eğer iki kulağın frontal düzleme göre konumları farklıysa yani sağ ve sol kulaklar farklı şekilde konumlandırılmışsa asimetrik, kulaklar yatay düzlemde iken yani kulaklar paralelken yanda olarak değerlendirilirler (Boissy ve ark. 2011; Bellagarde ve ark. 2017; de Oliveira ve Keeling 2018).



Şekil 1. İneklerde kulak pozisyonları (de Oliveira ve Keeling 2018).



Şekil 2. Koyunlarda kulak pozisyonlarının üstten ve önden görünüşü (Boissy ve ark. 2011).



Şekil 3. Keçilerde kulak pozisyonları (Weeder ve ark. 2023).

Kulak Pozisyonlarının Anlamı

Ruminantlarda kulakların yatay pozisyonda (yanda) ve kulak içinin ileriye dönük olması genellikle hayvanın bulunduğu ortamda rahat, huzurlu, sakin ve çevresel stresörlerden uzak olduğunu, dinlendiğini ve sosyal etkileşimlere açık olduğunu gösterir (Boivin ve ark. 2003; Hemsworth ve ark. 2011; Hötzel ve Costa 2011). Kulakların ileri pozisyonda olması genellikle hayvanın çevresindeki uyarıcılara karşı ilgi gösterdiğini, dikkat kesildiğini ve merak içinde olduğunu işaret eder (Lambert ve Carder 2019). Reis ve ark. (2016) da ileri pozisyondaki kulakların hayvanın bulunduğu ortamdaki rahatlık düzeyinin yüksek olmasının ve çevresindeki nesneler hakkında bilgi toplamaya çalıştığının göstergesi olduğunu belirtmişlerdir. Kulakların geri yönde pozisyonu ise ruminantlar korktuğunda, tehdit algıladığında, öfkeli ve agresif olduğunda, fiziksel rahatsızlık duyduğunda, hastalıkta, savunmaya geçtiğinde veya stres altında olduğunda görülen bir durumdur (Boivin ve ark. 2003; McLennan ve ark. 2016; Reis ve ark. 2016).

Boissy ve ark. (2011) yukarı kalkmış pozisyondaki kulakların olumsuz ama kontrol edilebilir durumlara karşılık geldiğini, asimetrik kulakların ise çok ani ve beklenmedik durumlara karşılık geldiğini bildirmişlerdir. Hötzel ve Costa (2011) kulakların sürekli olarak ileriye ve geriye hareket etmesinin, hayvanın çevredeki stres faktörlerine karşı duyarlı ve huzursuz olduğunu özellikle de stresli koşullarda, hayvanların çevreye odaklanma çabalarını gösterdiğini ifade etmişlerdir. Reis ve ark. (2016) da bazen ruminantların tek kulaklarını belirli bir yöne doğru çevirdiklerini bunun da

hayvanın çevresindeki belirli bir uyarıcıya odaklandığını ve dikkatle değerlendirdiğinin göstergesini olduğunu bildirmişlerdir. Spruijt ve ark. (2001) hayvanlarda olumlu olaylara karşı bir beklenti oluştuğunda kulakların yukarı kalkık kulak pozisyonda durduğunu bu duruşun da hayvanların artan dikkatlerinin bir tepki olarak ifade edilebileceğini bildirmişlerdir.

Kulak Pozisyonlarının Duygusal Durumlarla İlişkisi

Ruminantlarda duygular önemlidir çünkü dış veya iç olaylara yanıt olarak uygun davranışsal kararların seçilmesini sağlarlar. Duygular uyarılma (bedensel olarak) ve değerleri (olumsuz veya olumlu) olmak üzere iki boyutla tanımlanabilirler (Briefer ve ark. 2015). Ayrıca her iki boyut da duyguları farklı şekillerde etkileyebileceğinden uyarılma ve değerliğin doğru göstergelerinin belirlenebilmesi için biyolojik parametreler üzerindeki etkilerinin de aynı anda değerlendirilmesi önemlidir (Briefer ve ark. 2015). Reefman ve ark. (2009) koyunlarda kulak duruşlarındaki değişikliğin davranışsal ve kardiyak ölçümlerle orta ila güçlü derecede korelasyon gösterdiğini ve sonuçta hayvanın hem olumlu hem de olumsuz duygularını değerlendirmek için bazı fizyolojik ölçümlerin yerine kulak duruşlarının gözlemlenmesinin mümkün olduğunu bildirmişlerdir. Ruminantlarda kulakların pozisyonu, duyguların ifadesi ile ilişkilendirilmiş ve çeşitli uyaranların algılanan değerliliğinin önemli bir göstergesi olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Boissy ve ark. 2007, 2011; Reefmann ve ark. 2009a; Proctor ve Carder 2014; Baciadonna ve ark. 2020). Proctor ve Carder (2014) ruminantların kulaklarını hem ileri hem de geri yönde yüksek derecede bağımsız hareket ettirebilmelerine karşın kulak pozisyonlarının türe oldukça bağımlı olduğunu, bu nedenle hem geri hem de ileri yönde kulak pozisyonunun türlere göre olumlu veya olumsuz durumlarla ilişkilendirilebildiğini bildirmişlerdir. Örneğin Reefmann ve ark. (2009) ve Reefmann ve ark. (2009a) koyunların insanlar tarafından okşandığında ve olumlu beslenme etkileşimi (örneğin taze yem verilmesi) sırasında kulaklarının yüksek oranda yatay pozisyonda olduğunu, buna karşın sosyal izolasyon veya hoş olmayan yem yeme gibi olumsuz deneyimlerin geriye doğru ve asimetrik pozisyonda olmak üzere fazla sayıda kulak duruşu değişikliğine yol açtığını bildirmişlerdir. Boissy ve ark. (2011) koyunlarda geriye doğru kulak duruşunun tanıdık olmayan, kontrol edilemeyen ve hoş olmayan durumlarda korku ile ilişkilendirildiğini, yukarı doğru kulak duruşunun ise kontrol edilebilen ancak hoş olmayan durumlara yanıt olarak öfkeyi gösterdiğini, asimetrik kulak duruşunun ise ani durumlarda şaşkınlığı ve irkilme tepkilerini ifade ettiğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde Guesgen ve ark. (2016) kuzularda kuyruk kesme işleminden sonra

kulakların geriye doğru pozisyonda tutulduğunu ve bu pozisyonda geçirilen zamanda artış olurken kulakların yanda ve ileriye doğru pozisyonunda geçirilen zamanda azalma olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca, kuyruk kesiminden sonra kulak duruşları arasındaki değişiklik sayısında da önemli bir artış görüldüğünü belirtmişlerdir. Bellegarde ve ark. (2017) koyunlarda ruminasyonun nötr değerlik ve düşük uyarılmışlığın rahat bir durumu olarak kabul edildiğini ve geviş getirmede kulakların yatay ve kulak içinin ön düzlemde olduğunu bildirmişlerdir. Sosyal izolasyonun ise koyunlarda negatif değerlik ve yüksek uyarılma içeren duygusal bir duruma neden olduğunu ve kulakların geriye doğru itildiğini belirtmişlerdir. Hemsworth ve Coleman (2011) gürültülü bir ortamda ya da sosyal baskı altındaki koyunlarda kulakların geriye doğru pozisyon aldığını bunun da potansiyel bir stres yanıtı olduğunu bildirmişlerdir. Coulon ve ark. (2015) koyunların okşandıklarında yüksek oranda yatay kulak pozisyonları ya da iki yanda aşağı sarkık kulak pozisyonları sergilediklerini ve bunun da fiziksel temasın hayvanlar üzerinde sakinleştirici etkisinden kaynaklanabileceğini öne sürmüştür. Tamioso ve ark. (2017) koyunlarda fırçalamadan önce yukarı kalkık kulakların, fırçalama sırasında yatay ve geriye doğru bir pozisyon aldıklarını, fırçalamadan sonra ise kulakların yatay düzlemde kalma süresinin daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Fırçalamadan sonra ortaya çıkan yatay kulak pozisyonunun hayvanların rahatlamış olduğunu yani pozitif bir durumu gösterdiğini bildirmişlerdir. Yu ve ark. (2024) koyunlar rahat ya da mutlu olduklarında kulakların simetrik olarak iki yanda ve kulak içinin görünür durumda olduğunu, eğer koyun ağrı hissediyorsa kulakların geriye doğru ve kulak içinin görünmez durumda olduğunu bildirmişlerdir. Comin ve ark. (2023) pozitif durumlarda koyunların kulaklarını daha sık ve daha uzun süreli olarak öne doğru tuttuklarını, negatif durumlarda ise kulaklarını geriye doğru eğerek daha fazla zaman geçirdiklerini bildirmişlerdir. Briefer ve ark. (2015) keçilerde davranışların, duygusal değerlik (olumlu ve olumsuz) ve uyarılma (yüksek ve düşük yoğunluk) açısından farklılık gösteren bağlamlardan etkilendiğini ve olumlu durumlarda, keçilerin kulaklarının daha az sıklıkla geriye doğru olduğunu bildirmişlerdir. Vögeli ve ark. (2014) da kulak duruşlarının sadece gösterilme sıklığının değil, süresinin de öğretici olduğunu, çünkü farklı kulak duruşlarının her seferinde farklı bir süre boyunca meydana gelebileceğini vurgulamışlardır. Baciadonna ve ark. (2019) da keçilerin, farklı değerliklere sahip çağrıları ayırt edebildiklerini bu çağrılara verdikleri davranışsal ve fizyolojik tepkilerle ortaya koymuşlardır. Keçilerin pozitif durumlarda kulaklarını daha uzun süre ileri pozisyonda, negatif durumlarda ise arkaya pozisyonda tuttuklarını bildirmişlerdir (Baciadonna ve ark. 2020). Benzer şekilde Hussein ve Hidayet (2019)

kulak küpesi takma gibi ağrılı prosedürlerden hemen sonra oğlakların kulaklarını geriye doğru pozisyonda tuttuklarını ve kulaklarının düz bir konumda olduğu süreyi azalttıkları bildirmişlerdir. Baciadonna ve ark. (2020) ayrıca, kulakların ileri pozisyonunun, duygusal durumlar arasında genel bir aktivite seviyesini veya bir ödül beklentisiyle bağlantılı dikkati de gösterebileceğini geriye doğru konumlandırılmış kulakların da olumsuz bir duygudan ziyade bir belirsizlik durumuna işaret edebileceğini de öne sürmüşlerdir. Lambert ve Carder (2019) süt ineklerinde pozitif ve negatif yüksek uyarılma durumları olarak kabul edilen kulak duruşlarının performansında belirgin bir fark olduğunu, farklı duygusal durumlara yanıt olarak belirli kulak duruşları sergilediklerini ve kulak duruşlarını duygusal durum ölçüsü olarak kullanmanın bir dizi avantajı olduğunu bildirmiştir.
Lange ve ark. (2020) sığırlarda sarkık kulak pozisyonunun, bir insan tarafından okşanmanın neden olduğu pozitif duygularla ilişkili olduğunu ancak hayvanların insanlarla iyi bir ilişkiye sahip olması koşuluyla sığırlara nazik dokunsal etkileşimlerin olumlu duygusal durumlara neden olabileceğini bildirmişlerdir. Battini ve ark. (2019) sığırlarda beslenme sırasında %41,6'sının kulaklarını geriye doğru pozisyonda tuttuğunu, %77,3'ünün merada kulaklarını aşağı veya arkaya doğru pozisyonda gevşekçe tuttuğunu, kaçınma mesafesi testinde ise hayvanlarda heyecanın yüksek olduğunu ve neredeyse tamamının (%95,5) kulak kepçesini öne doğru (yaklaşan değerlendiriciye doğru) yönelttiğini saptamışlardır. Bununla birlikte sığırların duygu durumlarının barınma ve yönetim şeklinden de büyük ölçüde etkilendiğini, beslenme yerleri ve bölmeler için rekabet düşük olduğunda ineklerde kulakların genellikle geriye veya aşağı sarkık pozisyonda olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca sığırların sadece beslenme (%5,8) ve dinlenme (%8,2) sırasında kulaklarını dikleştirdiklerini belirtmiş bunu da hem beslenme hem de dinlenme aktivitesinin rekabetçi bir bağlam olmasına ve duyguların yem kalitesi ve alan gibi çeşitli faktörlerden etkilenmesine bağlamışlardır. de Oliveira ve Keeling (2018), otomatik tımar sırasında sığırların genellikle sol kulaklarının geriye doğru sarktığını (asimetrik kulak pozisyonu) gözlemlemişlerdir. Mattiello ve ark. (2019) sığırların otlama sırasında ve rahat bir durumda olduklarında kulaklarının aşağı veya geriye sarkık pozisyonda olduğunu bildirmişlerdir.

Kulak Pozisyonlarının Hayvan Refahı Değerlendirmede Kullanımı

Kulaklar ruminantlarda refahın değerlendirilmesinde genellikle yüz ifadesinin bir parçası olduğundan ağrının belirteci olarak kullanılmış, genellikle yüksek düzeyde güvenilir bir ağrı belirteci olarak kabul görmüştür. Bu tarz ölçeklerin değerlendirilmesinin kolay olduğu ve

gözlemciler arasında yüksek oranda birörneklilik sağlandığı, güvenilirlik ve yüksek tutarlılık gösterdiği bildirilmiştir (Gleerup ve ark. 2015; McLennan ve ark. 2016). Lamber ve Carder (2019), Papageorgiou ve Simitzis (2023) ve Machado ve ark. (2024) kulak pozisyonlarının, hayvanların duygusal durumlarının güvenilir bir ölçüsü ve genel refah seviyelerini değerlendirmede yardımcı olabilecek ölçütler olarak hayvan refahı değerlendirmelerinde kullanılabilen pozitif refah göstergeleri arasında yer alabileceğini bildirmişlerdir. Keeling ve ark. (2021) ve (Lange ve ark. (2021) da ruminantlarda kulak hareketleri ve kulak pozisyonlarının refahın değerlendirilmesinde duygusal durumlarının umut verici göstergeleri olduğunu doğrulamakla birlikte yorumlanması için çevre ve içinde bulunulan durumun etkilerinin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Bununla birlikte kulak pozisyonlarının, eğitimli gözlemciler tarafından hayvan refahı değerlendirmelerinde kullanılabilecek non-invaziv bir ölçüm yöntemi olarak büyük potansiyeli bulunmaktadır. Gözlemci çiftleri arasında %95'lik bir uyum (Proctor ve Carder 2014) ve en az rs = 0,92'lik bir korelasyon katsayısı (Schmied ve ark. 2008) ile kulak pozisyonlarını değerlendirmenin gözlemciler arası güvenilirliğinin yüksek olduğu gösterilmiştir. Öte yandan duygusal durum söz konusu olduğunda, kulakların pozisyonunun türler arasında değişiklik gösterdiği ve bu nedenle bir kalıp oluşturmanın mümkün olmadığı ve her türün ayrı ayrı değerlendirilmesi ve sonuçların bir türden diğerine aktarılmaması gerektiği vurgulanmıştır (Machado ve Silva 2020).

Sonuç

Sonuç olarak, bu çalışma kulakların ruminantların çevrelerindeki uyarıcılara verdikleri tepkileri ve duygusal durumları yansıtan bir iletişim aracı olduğunu, kulak pozisyonlarının bu hayvanların ruh halinin ve heyecan seviyesinin yorumlanmasıyla güçlü bir şekilde ilişkili olduğunu ve duyguları yorumlamak için tamamlayıcı ölçütler olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla kulak pozisyonlarının izlenmesi, çiftlik düzeyinde refahın genel bir değerlendirmesi için davranışsal ölçümleri zenginleştirmek açısından kolayca kullanılarak hayvanların yaşam kalitesinin artırılmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca ruminantlarda kulak duruşlarının duygusal durumun bir ölçüsü olarak kullanılması pek çok avantaja sahiptir. Örneğin fizyolojik ölçümlere kıyasla hayvanın aktivite seviyelerinden etkilenme olasılıkları daha düşüktür ve hayvana dokunmak veya yaklaşmak zorunda kalmadan uzaktan kaydedilebilirler. Bununla birlikte

gözlemciler kulak duruşlarını ölçmek üzere eğitilebilirler ve herhangi bir ekipman gerekmediği için ek bir maliyet getirmez. Bu nedenle ruminantlarda karşılaştırmalar için kullanılabilecek güvenilir verilerin elde edilmesi amacıyla farklı ırklarda daha fazla araştırma yürütülmesi faydalı olacaktır. Ayrıca bu alanda çalışmaların geliştirilmesi, kulaklar gibi vücut değişkenlerindeki değişikliklerden hayvanlardaki duyguları tanımlayabilen bilgisayarlı görüş yoluyla yapay zekâ yazılımlarının ilerlemesine ve kalibrasyonuna da katkıda bulunacaktır.

Kaynaklar

Baciadonna, L., Briefer, E.F., Favaro, L., McElligott, A.G. 2019. Goats distinguish between positive and negative emotion-linked vocalisations. Frontiers in Zoology, 16(1): 25.

Baciadonnaa, L., Briefer, E.F., McElligott, E.G. 2020. Investigation of reward quality-related behaviour as a tool to assess emotions. Applied Animal Behaviour Science, 225: 104968.
Battini, M., Agostini, A., Mattiello, S. 2019. Understanding cows' emotions on farm: are eye white and ear posture reliable ındicators? Animals, 9: 477.

Bellegarde, L.G.A., Haskell, M.J., Duvaux-ponter, C., Weiss, A., Boissy, A., Erhard, H.W. 2017. Face-based perception of emotions in dairy goats. Applied Animal Behaviour Science, 193: 51–59.

Blokhuis, H.J., Veissier, I., Miele, M., Jones, B. 2010. The Welfare Quality (R) project and beyond: Safeguarding farm animal well-being. Acta Agriculturae Scandinavica Section a-Animal Science, 60(3): 129-140.

Boissy, A., Manteuffel, G., Jensen, M.B., Moe, R.O., Spruijt, B., Keeling, L.J., Winckler, C., Forkman, B., Dimitrov, I., Langbein, J., Bakken, M., Veissier, I., Aubert, A. 2007. Assessment of positive emotions in animals to improve their welfare. Physiology & Behavior, 92(3): 375-97.

Boissy, A., Aubert, A., Desire, L., Greiveldinger, L., Delval, E., Veissier, I. 2011. Cognitive sciences to relate ear postures to emotions in sheep. Animal Welfare, 20(1): 47-56.

Boivin, X., Lensink, J., Tallet, C., Veissier, I. 2003. Stockmanship and farm animal welfare. Animal Welfare, 12: 479-492.

Briefer, E.F., Tettamanti, F., McElligott, A.G. 2015. Emotions in goats: mapping physiological, behavioural and vocal profiles. Animal Behaviour. 99: 131-143.

Botreau, R., Veissier, I., Butterworth, A., Bracke, M.B.M., Keeling, L.J. 2007. Definition of criteria for overall assessment of animal welfare. Animal Welfare, 16: 225-228.

Cannas, S., Palestrini, C., Canali, E., Cozzi, B., Ferri, N., Heinzl, E., Minero, M., Chincarini, M., Vignola, G., Dalla Costa, E. 2018. Thermography as a non-ınvasive measure of stress and fear of humans in sheep. Animals, 8(9): 146.

Chan, H.L., Lin, M.A., Chao, P.K., Lin, C.H. 2007. Correlates of the shift in heart rate variability with postures and walking by time–frequency analysis. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 86(2): 124-130.

Comin, M., Atallah, E., Chincarini, M., Mazzola, S.M., Canali, E., Minero, M., Cozzi, B., Rossi, E., Vignola, G., Dalla Costa, E. 2023. Events with different emotional valence affect the eye's lacrimal caruncle temperature changes in sheep. Animals, 14: 50.

Coulon, M., Nowak, R., Peyrat, J., Chandèze, H., Boissy, A., Boivin, X. 2015. Do lambs perceive regular human stroking as pleasant? Behavior and heart rate variability analysis. PLoS ONE, 10: e0118617.

De Oliveira, D., Keeling, L. 2018. Routine activities and emotions: Integrating body language into an affective state framework. PLoS ONE, 13: e0195674.

Descovich, K.A., Wathan, J., Leach, M.C., Buchanan-Smith, H.M., Flecknell, P., Farningham, D., Vick, S. 2017. Facial Expression: An Under-Utilized Tool for the Assessment of Welfare in Mammals. ALTEX, 34: 409–429.

Désiré, L., Veissier, I., Després, G., Delval, E., Toporenko, G., Boissy, A. 2006 Appraisal process in sheep: interactive effect of suddenness and unfamiliarity on cardiac and behavioural responses. Journal of Comparative Psychology, 120: 280-287.

Fox, E. 2008. Emotion Science Cognitive and Neuroscientific Approaches to Understanding Human Emotions; Palgrave Macmillan: London, UK, 2008; ISBN 978-0-230-00517-4.

Fraser, D., Duncan, I.J.H. 1998. Pleasures, pains and animal welfare: toward a natural history of affect. Animal Welfare, 7: 383-396.

Gleerup, K.B., Andersen, P.H., Munksgaardc, L., Forkmana, B. 2015. Pain evaluation in dairy cattle. Applied Animal Behaviour Science, 171: 25–32.

Fraser, D., Duncan, I.J.H. 1998. Pleasures, pains and animal welfare: toward a natural history of affect. Animal Welfare, 7: 383-396

Guesgen, M., Beausoleil, N., Minot, E., Stewart, M., Stafford, K., Morel, P. 2016. Lambs show changes in ear posture when experiencing pain. Animal Welfare, 25: 171–177.

Hemsworth, P.H., Barnett, J.L., Coleman, G.J. 2011. The effects of domestication on farm animal welfare. Animal Welfare, 20(2): 35-42.

Hemsworth, P.H., Coleman, G.J. 2011. Human-livestock interactions: The stockperson and the productivity and welfare of intensively farmed animals. Published by CABI, Wallingford UK., ISBN: 9781845936730, 194pp.

Hopkins, W.D., Taglialatela, J.P., Leavens, D.A., 2011. Do chimpanzees have voluntary control of their facial expressions and vocalizations? Primate Commun. Hum. Lang. Vocalization Gestures Imitation Deixis Hum. Non-Hum. 71–88.

Hötzel, M.J., Costa, M.L. 2011. The role of ear position in cattle welfare. Livestock Science, 139(1-2): 151-157.

Hussein, N.J., Hidayet, H.M. 2019. Changes in ear postures of kid goats in response to ear tagging. Basrah Journal of Agricultural Sciences, 32(1): 26-34.

Keeling, L.J., Winckler, C., Hintze, S., Forkman, B. 2021. Towards a positive welfare protocol for cattle: a critical review of ındicators and suggestion of how we might proceed. Frontiers in Animal Science, 2: 753080.

Lambert, H., Carder, G. 2019. Positive and negative emotions in dairy cows: Can ear postures be used as a measure? Behavioural Processes, 158: 172-180.

Lange, A.,Waiblinger, S., van Hasselt, R., Mundry, R., Futschik, A., Lürzel, S. 2021. Effects of restraint on heifers during gentle human-animal interactions. Applied Animal Behaviour Science, 243: 105445.

Lange, A., Franzmayr, S.,Wisenöcker, V., Futschik, A.,Waiblinger, S., Lürzel, S. 2020. Effect of different stroking styles on bahaviour and cardiac parameters in heifers. Animals, 10: 426.

Machado, M., Silva, I.J.O. 2020. Body expressions of emotions: does animals have it? Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 8: 1-10.

Machado, M., Lobos, C.M.V., Silva, I.J.O.D., Silveira, R.M.F., Bittar, C.M.M. 2024. Do the ear and tail positions reflect the emotional state of calves? Journal of Animal Behaviour and Biometeorology. Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 12: e2024017.

Mattiello, S., Battini, M., De Rosa, G., Napolitano, F., Dwyer, C. 2019. How can we assess positive welfare in ruminants? Animals, 9: 758.

McLennan, K.M., Rebelo, C.J.B., Corke, M.J., Holmes, M.A., Leach, M.C., Constantino-Casas, F. 2016. Development of a facial expression scale using footrot and mastitis as models of pain in sheep. Applied Animal Behaviour Science, 176: 19-26.

Papageorgiou, M., Simitzis, P.E. 2022. Positive welfare ındicators in dairy animals. Dairy, 3: 814–841.

Proctor, H.S., Carder, G. 2014. Can ear postures reliably measure the positive emotional state of cows? Applied Animal Behaviour Science, 161: 20-27.

Posner, J., Russell, J.A., Peterson, B.S. 2005. The circumplex model of affect: an integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. Development and Psychopathology, 17(3):715-34.

Reefmann, N., Wechsler, B., Gygax, L. 2009. Behavioural and physiological assessment of positive and negative emotion in sheep. Animal Behaviour, 78(3): 651-659.

Reefmann, N., Butikofer Kaszas, F., Wechsler, B., Gygax, L. 2009a. Ear and tail postures as indicators of emotional valence in sheep. Applied Animal Behaviour Science, 118: 199–207.

Reis, A.D., Costa, M.L., Loureiro, M. 2016. Monitoring cattle welfare using ear position and behavior analysis. Animal Behavior and Welfare, 13(3): 187-193.

Schmied, C., Waiblinger, S., Scharl, T., Leisch, F., Boivin, X. 2008. Stroking of different body regions by a human: Effects on behaviour and heart rate of dairy cows. Applied Animal Behaviour Science, 109: 25–38.

Spruijt, B.M., van den Bos, R., Pijlman, F.T., 2001. A concept of welfare based on reward evaluating mechanisms in the braindanticipatory behavior as an indicator for the state of reward systems. Applied Animal Behaviour Science, 72: 145e171.

Tamioso, P.R., Rucinque, D.S., Taconeli, C.A., Da Silva, G.P., Maiolino Molento, C.F. 2017. Behavior and body surface temperature as welfare indicators in selected sheep regularly brushed by a familiar observer. Journal of Veterinary Behavior, 19: 27–34.

Vögeli, S.,Wechsler, B., Gygax, L. 2014. Welfare by the ear: Comparing relative durations and frequencies of ear postures by using an automated tracking system in sheep. Animal Welfare, 23: 267–274.

Yu, W., Yang, X., Liu, Y., Xuan, C., Xie, R., Wang, C. 2024. SMEA-YOLOv8n: A sheep facial expression recognition method based on an Improved YOLOv8n Model. Animals, 14: 3415.

Wathan, J., McComb, K. 2014. The eyes and ears are visual indicators of attention indomestic horses. Current Biology, 24: R677-R679.

Weeder, M.M., Kleinhenz, M.D., Reppert, E.J., Fritz, B.R., Viscardi, A.V., Montgomery, S.R., Martin, M.S., Curtis, A.K., Leslie, A.A., Lou, M.E., Hall, M.G., Coetzee, J.F. 2023. Optimal lameness induction model development using amphotericin B in meat goats, Translational Animal Science, 7(1): txad105.

THE ROLE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS (SDGS) IN SEAFOOD 4.0

Irem Kılınç[1*], Berna Kılınç[2]

[1.] Katip Çelebi University, Fisheries Faculty, Fish Processing Technology Department, 35610 Çiğli-Izmir, Türkiye

[3.] Ege University, Fisheries Faculty, Fish Processing Technology Department, 35100 Bornova-Izmir, Türkiye

Abstract

By highlighting global challenges, the food industry's capacity to align with the Sustainable Development Goals (SDGs) is paramount for securing a sustainable future. This paper systematically examines this critical alignment, with a particular emphasis on the seafood sector. It argues that technological advancements are fundamental to this endeavor. The review focuses on integrating ohmic heating, Industry 4.0 enablers (e.g., AI, big data, IoT, robotics, blockchain), and various digital technologies (DTs). A rigorous analysis explores the nexus between these green food technologies and Industry 4.0 paradigms with specific SDGs, elucidating their inherent synergies and interdependencies. The discussion further addresses the challenges and opportunities in integrating these advanced technologies to cultivate a more resilient and sustainable food system. Specifically, it highlights their transformative potential within the seafood industry for optimizing resources, mitigating waste, enhancing food safety, and promoting sustainable practices, thereby advancing global sustainability objectives.

Keywords: Sustainable Development Goals, Sustainable Food Systems, Green Technology, Digitalization, Seafood 4.0

1. Introduction

The Sustainable Development Goals (SDGs) are a universal call to action to end poverty and protect the environment (Banerjee et al., 2019). The SDGs, adopted by the United Nations, have set goals to address global social, economic and environmental issues. The food industry is crucial to achieving the SDGs because of its impact on hunger, health, economic growth and environmental sustainability. Traditional food processing lags behind these goals and requires alternative technologies such as omic heating, a key technology that can lead the food industry in a sustainable direction (Gavahian et al., 2025). The links between green food technologies (e.g. green conservation, processing, extraction and analysis) and Industry 4.0 enablers (e.g. artificial intelligence, big data, smart sensors, robotics, blockchain and the Internet of Things) and the Sustainable Development Goals (SDGs) have very important identified subject in recent years. Green and Industry 4.0 technologies have been both rapidly becoming a valuable part of meeting

the SDGs. These technologies show high potential in promoting ecological and digital transitions of food systems, providing social, economic and environmental consequences (Hassoun et al., 2022).

"Seafood 4.0" refers to the integration of Industry 4.0 technologies (like AI, Big Data, IoT, blockchain, and robotics) into the seafood industry. This aims to improve efficiency, productivity, sustainability, food quality, safety, and traceability across the entire seafood value chain, from fishing and aquaculture to processing, distribution, and consumption (Hassoun & Lerfall, 2025). Here's a list of the key SDGs that are particularly relevant to Seafood 4.0 and Fisheries Sector (United Nations, 2025; Elliott et al., 2022; Farmery et al., 2022):

- **SDG 1: No Poverty:** Sustainable seafood practices and the creation of efficient, transparent supply chains through Seafood 4.0 can lead to stable jobs and increased income for coastal communities and small-scale fishers, helping to alleviate poverty.
- **SDG 2: Zero Hunger:** Seafood is a vital source of protein for billions globally. Seafood 4.0 technologies can improve food security by increasing sustainable seafood production, reducing waste, and ensuring access to nutritious aquatic foods.
- **SDG 3: Good Health and Well-being:** By ensuring food safety and quality through improved traceability and monitoring, Seafood 4.0 contributes to better health outcomes for consumers. Seafood itself is a nutrient-rich food.
- **SDG 5: Gender Equality:** Women play significant roles in the seafood industry, particularly in processing. Seafood 4.0 initiatives can promote more equitable opportunities, better working conditions, and improved access to resources for women in the sector.
- **SD 6: Clean Water and Sanitation:** Sustainable aquaculture practices and reduced pollution facilitated by Seafood 4.0 technologies are crucial for maintaining healthy aquatic ecosystems and ensuring clean water resources.
- **SDG 8: Decent Work and Economic Growth:** Seafood 4.0 fosters sustainable economic activities, creates new job opportunities in technology and sustainable practices, and supports resilient "blue economy" initiatives, ensuring decent work for those in the industry.
- **SDG 9: Industry, Innovation, and Infrastructure:** Seafood 4.0 is inherently about innovation and resilient infrastructure. It involves the development and implementation of advanced technologies for efficient and sustainable seafood production, processing, and management.
- **SDG 10: Reduced Inequalities:** By empowering small-scale fishers, providing market access, and ensuring fair trade practices through enhanced transparency and data sharing, Seafood 4.0 can help reduce inequalities within the seafood value chain.

- **SDG 12: Responsible Consumption and Production:** Seafood 4.0 directly promotes responsible consumption and production patterns by enabling better resource management, reducing waste, promoting circular economy principles (e.g., valorizing by-products), and providing consumers with information on sustainable sourcing.
- **SDG 13: Climate Action:** Sustainable seafood practices, supported by Seafood 4.0, can contribute to climate change mitigation by promoting more fuel-efficient fishing, reducing the carbon footprint of seafood production, and ensuring healthy ocean ecosystems that act as carbon sinks.
- **SDG 14: Life Below Water:** This is the most direct SDG for the seafood industry. Seafood 4.0 technologies are vital for achieving targets under SDG 14, including:
    - Ending overfishing and destructive fishing practices.
    - Combating illegal, unreported, and unregulated (IUU) fishing.
    - Protecting and restoring marine and coastal ecosystems.
    - Reducing marine pollution.
    - Increasing the economic benefits from the sustainable use of marine resources.
- **SDG 17: Partnerships for the Goals:** The implementation of Seafood 4.0 and the achievement of related SDGs require strong partnerships between governments, industry, academia, NGOs, and local communities to share knowledge, develop policies, and implement sustainable solutions.

In essence, Seafood 4.0 provides the technological framework to drive the seafood industry towards a more sustainable and equitable future, directly contributing to the realization of these critical Sustainable Development Goals.

Moreover, Digital technologies (DTs) play a crucial role in advancing the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations. It provides innovative solutions to global challenges such as poverty reduction, equitable healthcare, climate action and responsible consumption. The findings highlight the transformative role of DTs in improving resource optimization, decision-making and service delivery and in achieving various SDGs. AI facilitates automation and predictive analytics by supporting health care (SDG 3) and climate action (SDG 13). Blockchain improves transparency, security and ethical governance (SDG 16). IoT provides real-time monitoring for smart cities (SDG 11) and energy efficiency (SDG 7). Big data analytics strengthens supply chains, agricultural productivity (SDG 2) and disaster management (SDG 13). While cloud computing promotes collaboration and scalability (SDG 9, SDG 17), 5G networks improve connectivity and infrastructure development. Remote sensing and GIS provide basic information for environmental monitoring (SDG 14, SDG 15) and disaster response (Hariyani et al., 2025). The transformational potential of Agenda 2030 lies in the synergies to be found between the Sustainable Development Goals (SDGs) (Timko et al., 2018).

2. Bridging Technological Advancement and Global Sustainability Imperatives

Green environmental technologies, renewable energy and globalization are interconnected pillars that affect economies and societies. By effectively promoting these resources, environmental policies can help promote economic prosperity, environmental protection and sustainable development (Sharif et al., 2024). Sustainability is based on economic, social and environmental factors. Green innovation leads to a negative relationship between economic factors and the SDGs, but a positive relationship between social factors and the SDGs, highlighting the complexities in achieving sustainable development. However, green innovation leads to a negative relationship between economic factors and the SDGs, but a positive relationship between social factors and the SDGs (Islam, 2025). The quest for sustainable development faces many challenges. Technological innovation, especially the Internet of Things (IoT), has emerged as a key opportunity to achieve sustainability (Zyoud and Zyoud, 2025). The findings of one study underlined the potential of IoT to develop sustainable business models that balance economic, social and environmental benefits. This research contributed to the growing body of knowledge about IoT applications in sustainable supply chains by providing a multi-faceted analysis of the structure, evolution and future trajectory of the field. The information presented was valuable for researchers, policy makers and practitioners who want to take advantage of the IoT to create more efficient, flexible and sustainable supply chains in an increasingly globalized and environmentally sensitive (Rahimi et al., 2024).

3. Mapping Seafood 4.0 Technologies to Specific SDGs

The increasing consumption of seafood leads to concerns about the sustainability of marine ecosystems (Kersulec et al., 2024). The current magnitude of oceanic extreme events already exceeds the scenario estimates for the end of the decade, and therefore increased adaptation measures will be insufficient for seafood-dependent livelihoods. However, transformational change is considered promising, but uncertainties remain about what drives such processes and how the consequences of non-compliance can be prevented. While the science of extreme events is advancing rapidly, little is known about subsistence adaptation and transformation processes in the context of single or compound oceanic extreme events (Ojea et al., 2023). The refrigeration of food during transport and storage activities makes the energy consumption in the supply chain particularly high, with related effects on its sustainability. The increasing pressure on sustainability and product quality makes it necessary to have a continuous temperature control that allows preventing food waste and temperature violations with high energy consumption without motivation. Effective management of the cold chain directly affects the quantities of wasted food and beverages, guaranteeing product quality, customer satisfaction and, more generally, greater protection of public health. From this point of view, energy efficiency includes benefits not only for the environment, but also for food quality and the final consumer (Marchi and Zanoni, 2022).

4. Synergies and Interdependencies of SDGs

The six Sustainable Development Goals (SDGs), collectively referred to as the FWEECE — Food (2), Water (6), Energy (7), Economy (8), Climate (13) and Ecology (15) — form the interconnected core of the human-earth system (Su et al., 2025). By emphasizing the importance of decoupling and interdependence between different policy areas related to the SDGs, it is aimed to implement the SDGs indivisibly (Wiegant et al., 2024). The SDGs are designed to address the interactions between the economy, society and the biosphere. However, the indicators used to assess progress towards the goals do not take into account these interactions. To understand the possible implications of this segmented assessment framework, investigating assessments of progress towards SDG 14 (Life Under Water) and intersecting social goals have been reported to be necessary (Nash et al., 2020). In order to achieve the SDGs, it is essential to decipher the complex relationships between water, energy and food systems in agriculture. With global challenges such as climate change, population growth and resource depletion looming, understanding and optimizing these interdependencies is imperative to promote sustainable agricultural practices and ensure food security (Mandal et al., 2025). For example, a strategy to reduce climate change may consist of various actions in different sectors to improve technology, reduce emissions and sequester carbon (Mustajoki et al., 2024). The 2030 target for implementation of the Sustainable Development Goals (SDGs) raises challenging questions arising from the inherent linkages and potential competition between primary resources. 'Economic Growth' and 'Clean Water and Sanitation' are closely related SDGs (Mohtar and Daher, 2017). The SDGs aim to address sustainable development processes in both developed and developing countries and facilitate action at all levels and with all actors, including government, civil society, the private sector and the scientific community. SDG 14 covers economic pressures on the marine environment, among other features, and takes into account the characteristics of coastal communities. This article reviews the framework of the SDG 14 indicators, which, in addition to what is rational for SDG 14, includes (i) some basic concepts such as uncertainty, irreversibility and the role of thresholds in the maritime context and the multidimensionality of indicators; (ii) synergies and exchanges between SDG 14 goals and how to monitor progress between SDG 14 and other SDG goals and policy coherence at the national level; (iii) between the SDG 14 indicators and the Millennium Development Goals and Multilateral Environmental Decrees goals and indicators Dec. 14, Dec. 14 and other SDG goals, how to monitor progress on policy coherence at the national level; synergy; and (iv) the role of big data (Virto et al., 2018). One research provided a comprehensive review of the interconnected nature of the SDGs and their combined impact on SDG 13- Climate Action, with a focus on the changing economic contexts of countries around the world (Chaurasiya et al., 2025).

5. Challenges and Opportunities for SDG Integration

Food systems are complex networks of supply and demand value chains that have profound effects on human health, environmental sustainability and economic development. Concerns about the social, environmental and economic sustainability of these systems have become increasingly acute due to challenges such as population growth coupled with an emerging middle class, urbanization, resource competition, geopolitical tensions and climate change. The United Nations has set Sustainable Development Goals (SDGs) to address the interaction between social, economic

and environmental factors, but the specific steps needed to transition from the current situation to the goals are less clear (Michel et al., 2024). Recently, academic and scientific discussions have focused strongly on the use of digital technologies to address sustainability issues. In particular, the use of digital technologies may be the key to achieving the Sustainable Development Goals (SDGs) announced on the 2030 Agenda. Although various studies have focused on the combination of digital technologies and SDGs, current research has analyzed them less with specific business functions and processes in mind (Varriale et al., 2024). Digital twin (DT) technology plays a very important role in the modernization and optimization of a large number of industrial sectors. The blue economy covers established sectors such as marine energy systems, shipbuilding and business, aquaculture and fishing, and emerging areas such as coastal protection and deep-sea mining. Many of these sectors are crucial for achieving the Sustainable Development Goals (SDGs), especially related to climate action and marine biodiversity. The integration of DT technologies into the blue economy can offer added value by increasing operational efficiency, improving risk management and encouraging sustainable practices (Bhati et al., 2025). For example, the adoption of digital technologies in agriculture was reported to be allowed for a reduction of at least 23% in costs and a reduction of about 5% in the volume of medium-level waste. In addition, digitalization was being increasingly adopted in food safety and electronic commerce. Future trends lie in blockchain technology to improve traceability and personalized food that would met individual consumer needs for better health and nutrition (Shidhar et al., 2023).

6. Towards a Sustainable Seafood Future Through Technological Advancement

Seafood is essential for achieving the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), in particular to improve food security and support sustainable livelihoods. However, the seafood industry is facing challenges due to the short shelf life of its products, caused primarily by microbial contamination and biofilm formation, which increases resistance to traditional preservation methods. This review examines the microbial hazards associated with seafood, focusing on the complexities of biofilm formation on seafood and processing equipment. Researches natural antimicrobial strategies including plant extracts, biosurfactants and antimicrobial peptides, as well as advanced non-thermal decontamination technologies such as electron beam irradiation, cold plasma and ultrasonication. These innovative methods show the potential to improve seafood safety, extend shelf life and preserve nutrient quality (Akter et al., 2025). Reducing food waste at the consumer level and balanced, sustainable healthy dietary options with less meat and less processed food have clear benefits in reducing climate change (Some et al., 2022). A detailed food waste evaluation process has been defined, starting from the recovery of functional compounds, including polyphenols, essential oils, pigments, bioactive compounds and carotenoids from food by-products, extraction strategies, characterization and finally the use of the extracted compounds in the Food industry. the pharmaceutical sector, food packaging and the cosmetics sector, which are finally increasing in the global food and reaching different targets from the SDG agenda 2030 (Ahmad et al., 2024).

Conclusion

This paper has systematically demonstrated the pivotal role of integrating green food technologies and Industry 4.0 enablers within the modern food industry, with a focused examination of the seafood sector, in significantly advancing the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). The conceptual framework of "Seafood 4.0" emerges not merely as a technological upgrade, but as a transformative paradigm. It illustrates how cutting-edge advancements in Artificial Intelligence (AI), big data analytics, the Internet of Things (IoT), robotics, and blockchain technology can fundamentally reshape the entire seafood value chain, from sustainable harvesting and aquaculture practices to efficient processing, transparent distribution, and responsible consumption. By strategically addressing critical imperatives such as resource optimization, significant waste mitigation across all stages, and the comprehensive enhancement of food safety and traceability (crucial for consumer health and trust), these technological innovations directly contribute to a diverse array of SDGs. This includes the crucial goals of eradicating poverty (SDG 1) by creating stable livelihoods, ensuring zero hunger (SDG 2) through improved food security, promoting good health and well-being (SDG 3) via safer food, fostering decent work and economic growth (SDG 8), driving industry innovation and infrastructure (SDG 9), ensuring responsible consumption and production (SDG 12), enabling robust climate action (SDG 13), and critically, preserving life below water (SDG 14). The inherent synergies and interdependencies among these global objectives underscore the absolute imperative for a holistic, integrated approach, firmly positioning technological innovation as a potent and indispensable catalyst for achieving comprehensive and sustainable development worldwide. The establishment of secure, transparent, and efficient data infrastructures will facilitate enhanced traceability from catch to plate and enable truly data-driven decision-making, which are paramount for accountability and sustainability. Finally, a proactive approach to assessing and mitigating potential socio-economic risks, such as workforce displacement due to automation, coupled with the development of more refined and quantifiable metrics for assessing SDG contributions, will be essential to guide future investments, ensure equitable transitions, and maximize the transformative impact of the Seafood 4.0 paradigm on a global scale.

References

Ahmad, T., Esposito, F., Cirillo, T. (2024). Valorization of agro-food by-products: Advancing sustainability and sustainable development goals 2030 through functional compounds recovery. Food Bioscience, 62, 105194. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105194

Akter, S., Rahman, M.A., Ashrafudoulla, M., Park, S.H., Ha, S.D. (2025). Seafood and biofilm: Mitigation strategies for food safety. Food Control, 168, 110932. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110932

Banerjee, O., Cicowiez, M., Horridge, M., Vargas, R. (2019). Evaluating synergies and trade-offs in achieving the SDGs of zero hunger and clean water and sanitation: An application of the IEEM Platform to Guatemala. Ecological Economics, 161, 280-291. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.04.003

Bhati, M., Goerlandt, F., Pelot, R. (2025). Digital twin development towards integration into blue economy: A bibliometric analysis. Ocean Engineering, 317, 119781. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119781

Chaurasiya, M., Kumar, Bhatt, K., Sharma, S. (2025). The interplay of SDGs and climate action: A quantitative analysis of regional income influences on SDG 13 progress. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 139, 103939. https://doi.org/10.1016/j.pce.2025.103939

Elliott, V. L., Lynch, A. J., Phang, S. C., Cooke, S. J., Cowx, I. G., Claussen, J. E., Dalton, J., Darwall, W., Harrison, I., Murchie, K. J., Steel, E. A., & Stokes, G. L. (2022). A Future for the Inland Fish and Fisheries Hidden Within the Sustainable Development Goals. *Frontiers in Environmental Science,* 10-2022. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.756045

Gavahian, M., Chaosuan, N., Yusraini, E., Sastry, S. (2025). Roles of ohmic heating to achieve sustainable development goals in the food industry: From reduced energy consumption and resource optimization to innovative production pathways with reduced carbon footprint. Trends in Food Science & Technology, 159, 104947. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2025.104947

Farmery, A. K., Alexander, K. A., Anderson, K., Blanchard, J. L., Carter, C. G., Evans, K., Fischer, M., Fleming, A., Frusher, S., Fulton, E. A., Haas, B., Macleod, C. K., Murray, L., Nash, K. L., Pecl, G. T., Rousseau, Y., Trebilco, R., Van Putten, I. E., Mauli, S., Dutra, L. X. C., Greeno, D., Kaltavara, J., Watson, R., & Nowak, B. (2022). Food for all: Designing sustainable and secure future seafood systems. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, *32*(1), 101–121. https://doi.org/10.1007/s11160-021-09663-x

Hariyani, D., Hariyani, P., Mishra, S. (2025). Digital technologies for the Sustainable Development Goals. Green Technologies and Sustainability, 3(3), 100202, https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100202

Hassoun, A., Prieto, M.A., Carpena, M., Bouzembrak, Y., Marvin, H.J.P., Pallares, N., Barba, F.J., Bangar, S.P., Chaudhary, V., Ibrahim, S., Bono, G. (2022). Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. Food Research International, 162, Part B, 112068. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112068

Hassoun, A., & Lerfall, J. (2025). Seafood 4.0: Digital, Physical, and Biological Innovations From Sea to Table. *Elsevier.*

Islam, H. (2025). Nexus of economic, social, and environmental factors on sustainable development goals: The moderating role of technological advancement and green innovation. Inovation and Green Development, 4(1), 100183. https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100183

Kersulec, C., Doyen, L., Cisse, A.A. (2024). From fork to fish: The role of demand on the sustainability of multi-species fishery. Ecological Economics, 225, 108320. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108320

Mandal, K., Chowdhury, M., Dutta, S., Satpute, A.N., Jha, A., Khose, S., Gupta, V., Das, S. (2025). Synergizing agricultural systems: A critical review of the interdependencies within the

water-energy-food nexus for sustainable futures. Water- Energy Nexus, In Press, https://doi.org/10.1016/j.wen.2025.04.004

Marchi, B., Zanoni, S. (2022). Energy efficiency in cold supply chains of the food and beverage sector. Transportation Research Procedia, 67, 56-62. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.12.035

Michel, M., Eldridge, A.L., Hartmann, C., Klassen, P., Ingram, J., Meijer, G.W. (2024). Benefits and challenges of food processing in the context of food systems, value chains and sustainable development goals. Tremds in Food Science & Technology, 153, 104703. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104703

Mohtar, R.H., Daher, B. (2017). Beyond zero sum game allocations: expanding resources potentials through reduced interdependencies and increased resource nexus synergies. Current Opinion in Chemical Engineering, 18, 84-89. https://doi.org/10.1016/j.coche.2017.09.002

Mustajoki, J., Liesiö, J., Kajanus, M., Eskelinen, T., Karkulahti, S., Kee, T., Kesanen, A., Kettunen, T., Wuorisalo, J., Marttunen, M. (2024). A portfolio decision analysis approach for selecting a subset of interdependent actions: The case of a regional climate roadmap in Finland. Science of the Total Environment, 912, 169548. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169548

Nash, K.L., Blythe, J.L., Cvitanovic, C., Fulton, E.A., Halpern, B.S., Milner-Gulland, E.J., Addison, P.F.E., Pecl, G.T., Watson, R.A., Blanchhard, J.L. (2020). To Achieve a Sustainable Blue Future, Progress Assessments Must Include Interdependencies between the Sustainable Development Goals. One Earth, 2(2), 161-173. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.01.008

Ojea, E., Ilosvay, X.E., Salguerio-Otero, D., Rubio, I., Tidd, A.N., Caballero, S.V., Bueno-Pardo, J., Aguion, A., Barazzetta, F., Ameneiro, J. (2023). Research priorities for seafood-dependent livelihoods under ocean climate change extreme events. Current Opinion in Environmental Sustainability, 61, 101264. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2023.101264

Rahimi, M., Maghsoudi, M., Shokouhyar, S. (2024). The convergence of IoT and sustainability in global supply chains: Patterns, trends, and future directions. Computers & Industrial Engineering, 197, 110631. https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110631

Sharif, A., Bashir, U., Mehmood, S., Cheong, C.W.H., Bashir, M.F. (2024). Exploring the impact of green technology, renewable energy and globalization towards environmental sustainability in the top ecological impacted countries. Geoscience Frontiers, 15(6), 101895. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2024.101895

Shidhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P.S., Kapoor, A., Vo, D.V.N., Rangasammy, G. (2023). Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals: a review. Royal Society of Chemistry, Sustainable Food Technology, 1(6), 783-802. https://doi.org/10.1039/d3fb00124e

Some, S., Roy, J., Chatterjee, J.S., Butt, M.H. (2022). Low demand mitigation options for achieving Sustainable Development Goals: Role of reduced food waste and sustainable dietary choice. Journal of Cleaner Production, 369, 133432. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133432

Su, Y., Li, L., Zhou, G., Fu, L., Tian, D., Wang, L., Wang, T., Hu, J., Huan, Y., Liang, T. (2025). Causalities and priorities for SDG targets in the human-earth system. Resources, Conservation and Recycling, 212, 108016.

Timko, J., Billon, P.L., Zerriffi, H., Honey-Roses, J., Roche, I., Gaston, C., Subderland, T.C.H., Kozak, R.A. (2018). A policy nexus approach to forests and the SDGs: tradeoffs and synergies. Current Opinion in Environmental Sustainability, 34, 7-12. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.06.004

United Nations. (2025). 2025 United Nations Conference to Support the Implementation of Sustainable Development Goal 14: Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development (A/CONF.230/2025/12).

Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F., Caputo, M. (2024). The role of digital technologies in production systems for achieving sustainable development goals. Sustainable Production and Consumpttion, 47, 87-104. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.035

Virto, L.R. (2018). A preliminary assessment of the indicators for Sustainable Development Goal (SDG) 14 “Conserve and sustainably use the oceans, seas and marine resources for sustainable development”. Marine Policy, 98, 47-57. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.08.036

Wiegant, D., Dewulf, A., Zeben, J.V. (2024). Alignment mechanisms to effectively govern the sustainable development goals. World Development, 182, 106721. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2024.106721

Zyoud, S., Zyoud, A.H. (2025). Advancing sustainable cities and communities with internet of things: Global insights, trends, and research priorities for SDG 11. Results in Engineering, 26, 104917. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104917

GREEN PRODUCTION TECHNOLOGIES WITH AI-SUPPORTED WATER FOOTPRINT OPTIMIZATION IN SEAFOOD 4.0

Irem Kılınç[1*], Berna Kılınç[2]

[1.] Katip Çelebi University, Fisheries Faculty, Fish Processing Technology Department, 35610 Çiğli-Izmir, Türkiye

[3.] Ege University, Fisheries Faculty, Fish Processing Technology Department, 35100 Bornova-Izmir, Türkiye

Abstract

The escalating global challenges of food security, climate change, and environmental degradation necessitate innovative and sustainable approaches across the food industry. This paper explores the integration of green production technologies and Artificial Intelligence (AI)-supported water footprint optimization within the context of Seafood 4.0. It examines the imperative for sustainable practices in the seafood sector, highlighting the significant water and energy consumption associated with traditional processes and the resulting environmental impacts. The paper reviews recent advancements in green production technologies, including the valorization of seafood by-products, green extraction techniques, and natural antimicrobial agents. Furthermore, it elucidates the transformative role of AI in optimizing aquaculture parameters, feeding strategies, and resource utilization, ultimately aiming to minimize the water footprint. Recent studies and applications demonstrating the successful implementation of AI and Industry 4.0 technologies in enhancing sustainability, traceability, and waste reduction within the agri-food and seafood sectors are discussed. Finally, the challenges and opportunities for wider adoption of these intelligent green technologies are considered, paving the way for a more sustainable and water-efficient Seafood 4.0 industry.

Keywords: Water footprint, Sustainable practices, Waste reduction, AI-supported water footprint optimization, Seafood 4.0

1. Introduction

The food industry faces many challenges and criticisms from public authorities and consumers due to the production of over-processed and unhealthy foods as well as its highly negative impact on the environment (Ait- Kaddour et al., 2024). Meat and meat products contributed the most to overall environmental impacts (e.g., climate change, terrestrial acidification) and animal welfare loss of fish and seafood (e.g., animal lives were lost, animal life years suffered). Sodium intake was the most contributing risk factor for minutes of life lost. The combined optimization scenario reduces 55% of greenhouse gas emissions, increases human health indicators by 25% and significantly reduces the loss of animal welfare (52-97%) (Paris et al., 2024). The carbon footprint

is a measurement of the environmental impact in terms of the amount of greenhouse gases created. Determining the relevance and scope, defining the functional unit and system, evaluating the inventory, calculating the life cycle impact, and clarifying the life cycle to include sensitivity analysis are the processes in carbon footprint research. When conducting sustainability research using sustainability indicators such as carbon footprint, it is vital to examine sustainability criteria such as climate change, energy consumption, user waste production, progress of production and recycling operations. It is aimed that effective food supply chain management will lead to a decrease in carbon footprint, positive environmental results and an increase in food safety. In order to reduce the value of the carbon footprint index, existing agricultural techniques are being improved, new food production methods are being developed, and an increasing number of customers are choosing environmentally friendly products (Shabir et al., 2023). Indeed, in recent years, the rapid increase in the global population, the challenges related to climate change and the emergence of new pandemics have become major threats to food security around the world. Hence, innovative solutions are urgently needed to address the current challenges and improve food sustainability. While green technologies are gaining significant attention for many food applications, the technologies of the fourth industrial revolution (Industry 4.0) are reshaping different production and consumption sectors such as agriculture and food (Hassoun et al., 2022). Food quality is a key factor in the success of Food Industry 4.0, and its management can lead to the production of environmentally friendly and healthier products through the optimization of industrial transformation processes of the supply chain (Ait-Kaddour et al., 2024a). Actually, Industry 4.0 is leading to significant changes in many sectors, including the food industry. Industry 4.0 technologies such as smart sensors, artificial intelligence, robotics and blockchain are transforming unit operations in the food sector. These processes, which include preparation, processing/ conversion, preservation/stabilization and packaging and transportation, are very important for the transformation of raw materials into high-quality food products. Industry 4.0 technologies also combine advanced digital, physical and biological innovations to increase precision, productivity and environmental responsibility in food production (Hassoun et al., 2024). For this reason, the global challenges underscore the urgent need to seek new and alternative approaches to overcome, or at least alleviate, the profound environmental, social and economic dilemmas they pose. As a result, Industry 4.0 and its enabling technologies have recently attracted great attention from researchers and the academic community (Bigliardi et al., 2024).

2. The Imperative for Green Production and Water Footprint Optimization in Seafood 4.0

Given the vital role of water, the need to improve and maintain its quality is increasingly important (Gkika et al., 2025). Water is an indispensable resource for sustaining life, ecosystems and economic productivity. However, increasing pollution and pollution pose serious threats to global water purity, with significant risks to human health, biodiversity and ecosystem stability (Ejiohuo et al., 2025). Therefore, the presence of emerging pollutants in the environment poses a significant threat to water security and human well-being, which is an urgent problem to solve (Kuang et al., 2025). Hence, the studies should be mainly focused on the importance of water and energy use optimization in the seafood industry, the current trend of energy and water use models

as well as management practices, optimization strategies and the seafood-energy-water link and its environmental impacts. Aquaculture is one of the fastest growing agricultural sectors globally and is becoming increasingly important for producing sustainable and healthy diets with relatively low climate impacts. Compared to animal husbandry, especially beef, seafood production has lower carbon emissions. In addition, some species can extract carbon from their aquatic environment, which can contribute to a long carbon cycle. However, with the increasing global population and the demand for aquatic food, the potential for negative environmental consequences in aquaculture production may increase (Zhang et al., 2024). Fish growth, health and population density are deeply affected by oxygen nutrition in aquaculture. A new solar-powered oxygen generator combined with water electrolysis and fuel cells has been developed in an integrated way to achieve a more sustainable aquaculture and therefore a more sustainable ecosystem (Erdemir and Dinçer, 2024).

3. Green Production Technologies in Seafood 4.0

High amounts of use of water and higher energy consumption have resulted in uncontrolled wastewater production and enormous fossil fuel use. For this purpose, one study aimed to comprehensively evaluate the energy and water consumption model in the seafood industries and propose measures for the sustainable development of the sector. In the seafood industry, energy has been primarily used in the transportation of machinery and equipment, such as cooling, freezing, heating, and drying. Similarly, a large amount of clean water has been used for cleaning machinery and facilities, as well as for operations such as washing raw materials, defrosting, defrosting and salt splashing. As a result, in the energy-water connection, additional energy is required for drawing fresh water and further processing of wastewater, which requires energy that results in air pollution and greenhouse gas emissions and imposes additional costs on the plant (Murali et al., 2021). The rising trend of green energy has made it necessary to use efficient green materials in electrochemical energy storage devices (eesds) under a green economy. Due to the increasing energy demand, advanced technology and the great challenge of E-waste, the need for sustainable energy storage technologies requires the development of environmentally friendly advanced materials and recycling processes in electrochemical energy storage within the framework of a circular economy (Beg et al., 2024).

Seafood is one of the primary food sources and bioactive compounds for human consumption worldwide. The processing of seafood is accompanied by the production of an enormous amount of by-products and wastes. These non-edible residues are composed of proteins, polysaccharides, lipids, carotenoids, vitamins, minerals, etc. It contains a significant amount of biomolecules such as. The recovery of these biomolecules could be an important way to improve global food security and reduce environmental issues related to seafood by-products/waste (Bruno et al., 2019). Due to increasing environmental concerns, the use of seafood processing wastes with a green approach has been investigated in one study. The results of this study showed the integration of lactic acid and fish visceral protease as a promising alternative tool in the extraction of a green α- and β-chitin to preserve the natural polymer and increase product yield. This process also allowed for the full use of seafood processing waste to produce high-value products (Maraksa et al., 2025). Actually, green extraction techniques constitute a promising tool for the industrial

recovery of biomolecules from seafood by-products and waste (Bruno et al., 2019). Additionally, foodborne pathogen-mediated biofilms in food processing environments are serious threats to human life. From the point of view of human and environmental safety, natural substances with antimicrobial properties and generally considered safe (GRAS) status are futuristic disinfectants of the food industry. For this purpose, the results of one study showed the prospective use of combining *Leu. mesenteroides* J.27-postbiotic derived with both EO as a "green preservative" in the seafood industry to inhibit the formation of pathogenic microbial biofilms (Toushik et al., 2022).

4. The Role of Artificial Intelligence in Water Footprint Optimization

The aquaculture industry faces critical challenges in optimizing feeding strategies to increase fish growth while minimizing environmental impacts and ensuring economic viability. Traditional feeding methods are often insufficient to adapt to dynamic environmental conditions and fish growth rates, which leads to suboptimal growth, waste and environmental degradation. To address these issues, this study provides a robust machine learning-based framework designed to optimize feeding processes in aquaculture. The framework uses advanced regression models such as Gradient Boosting Regressor, Elastic Network Regression and Support Vector Regression to predict optimal feed rates with high accuracy and efficiency (Saad et al., 2024). For this reason, the integration of artificial intelligence (AI) into aquaculture has been described as a transformative force that enhances various operational aspects, from water quality management to genetic optimization (Yang et al., 2025). One study provided a new multi-purpose optimization approach by integrating the Experimental Design (DOE) method with the Adaptive Artificial Multiple Intelligence System (AAMIS) to optimize aquaculture parameters. The Taguchi DOE method efficiently designed experiments by selecting the basic variables and their levels. Multi-purpose regression models, developed using statistical software and fine-tuned by AAMIS, balance maximizing efficiency by minimizing costs. Computational analysis validated AAMIS superior performance by surpassing traditional and advanced methods, achieving the leading Hypervolume and Average Ratio of Pareto Optimal Solution scores. This approach showed wide applicability in various aquaculture systems, promising global improvements in sustainability and efficiency (Sriprateep et al., 2025). The production of fertilizers such as urea faces significant environmental challenges due to greenhouse gas emissions associated with conventional processes. Another study addressed these problems by integrating innovative technologies such as electrolysis, carbon capture, the use of green ammonia and renewable energies to produce green hydrogen. In addition, urea production processes for the design of efficient and sustainable artificial neural networks (ANN) and multi-objective optimization approach that combined techniques was suggested (Padilla-Esquivel et al., 2025). Technological developments, urbanization, high energy demand and global requirements to reduce carbon footprints have led to the adoption of innovative green technologies for energy production (Judge et al., 2024). Despite the progress, challenges such as high costs, energy inefficiency and method integration remain. Future research should focus on innovative technologies and process optimization based on AI and machine learning (ML), and other subfields should cover improving recovery returns and promoting a sustainable circular economy (Kachiyappan et al., 2025). New opportunities for future research and development on

integrating robots and ML technologies are being discussed in order to facilitate future efforts to reduce environmental pollution and advance AI technologies (Guo et al., 2024).

5. Recent Studies and Applications

Food security and agricultural sustainability are essential for a just and healthy society. Increasing food demand, growing inequalities, climate change and pandemics are combining to undermine food security. These factors are contributing to an impending global food crisis, in which 30% of people worldwide do not have regular access to adequate food. Digital technologies provide unique opportunities to address the techno-economic challenges in the agri-food sector by improving food production, quality, supply chain management and trade (Sridhar et al., 2023). Case study analysis highlights better traceability and resilience to cyber threats by showing that AI-driven security has been successfully applied in real-world agri-food applications (Halder et al., 2025). To create a sustainable food system that reduces carbon emissions and fights climate change while protecting the food security of future generations is essential (Thamarai et al., 2024). One review provided a detailed analysis of collagen-rich waste sources, including cattle, pigs, fish, caprine, sheep and poultry, examining the waste percentages, protein content and extraction efficiencies. The study explored the transformative role of artificial intelligence (AI) in optimizing collagen extraction processes, improving efficiency, yield and quality, reducing energy consumption and waste generation. AI-oriented methods have shown up to 40% improvements in energy efficiency and a 45% reduction in waste, providing environmentally sustainable and cost-effective applications (Sirinivasan et al., 2025). The findings have been underlined the importance of integrating digital solutions into local waste management and called for collaboration between policy makers, stakeholders and communities to realize the potential of circular economy digitalization in accelerating decarbonization (Kurniawan et al., 2024). The increase in global population growth and the resulting increase in food demand, while ensuring quality, preventing waste, preventing deforestation and maintaining a carbon footprint, have put great pressure on the global food supply chain (FSC). Due to the possibilities of fast computing and the availability of data, blockchain technology has emerged as a potential system that can help develop a safe and secure FSC. Moreover, blockchain is likely to become a dominant technology to increase transparency and traceability, reduce risk, and most importantly, increase trust between different stakeholders in the field of FSC (Pandey et al., 2022).

6. Challenges and Opportunities for Wider Adoption

Fish and other seafood represent a valuable source of many nutrients and micronutrients for human nutrition and contribute significantly to global food security. However, a significant amount of seafood waste and by-products are produced along the seafood value and supply chain, from the sea to the consumer table, resulting in serious environmental damage and significant economic loss. Therefore, innovative solutions and alternative approaches are urgently needed to ensure better management of seafood waste and reduce its economic and environmental burdens. Using emerging technologies, including fourth industrial revolution (Industry 4.0) innovations (such as

AI, Big Data, smart sensors and the Internet of Things and other advanced technologies) to reduce and evaluate seafood waste and by-products can be a promising strategy for developing the blue economy and food sustainability worldwide (Hassoun et al., 2023). Digital solutions not only can reduce costs, increase productivity, improve product development, but also can provide faster time to market. Additionally, digitalization also ensures that information systems are open, interoperable and user-friendly (Rowan et al., 2022). Recent studies have shown that innovations in Industry 4.0 provide attractive opportunities to improve the efficiency of production operations and improve food quality, safety and traceability. By taking advantage of Food Industry 4.0, companies can convert wastes and by-products into valuable products and contribute to a more sustainable and efficient food production system (Ait-Kaddour et al., 2024b).

7. Towards a Sustainable and Water-Efficient Seafood Industry through Intelligent Green Technologies

Globally, about a third of all food produced for human consumption is lost or wasted, which exacerbates the issues of food security, economic inefficiency and environmental damage. Artificial Intelligence (AI) offers a transformative potential to reduce these losses by increasing food spoilage forecasts and optimizing supply chain management (Onyeaka et al., 2025). Blockchain Technology has attracted a lot of attention due to its enormous potential to transform the way transactions are executed and information is managed. A blockchain is a decentralized digital ledger spread over a computer network that allows transactions to be recorded securely, transparently and immutably (Rani et al., 2024). For example, globalization, expanding trade and rising living standards have intensified the demand for cold chain logistics by requiring the maintenance of unchanged product quality from production to final consumer use. In this context, it is imperative to maintain a strict temperature regime during transportation (Soo et al., 2025). In addition to this, the application of modern computational intelligence tools, including AI and meta-intuitive optimization algorithms, can improve the operational understanding of desiccant cooling systems while addressing the minimization of total water footprints by maximizing cooling capacity (Tariq et al., 2023). Indeed, AI technology acts as a powerful tool to optimize energy efficiency and reduce ecological footprints (Wang et al., 2024). While a number of green technologies are already providing innovative solutions for major food system transformations, the application of digital technologies and other Industry 4.0 technological innovations in the food sector is still limited. Therefore, it is expected that greener and digital solutions will be adopted in the coming years, taking advantage of all their potential to achieve a healthier, smarter, more sustainable and more resilient food future (Hassoun et al., 2022).

Conclusion

The convergence of green production technologies and AI-supported water footprint optimization presents a significant paradigm shift towards a more sustainable and resilient seafood industry. The imperative for this transformation stems from the critical need to mitigate the environmental impacts of traditional seafood production, particularly concerning water and energy consumption,

and to address the growing global demands for nutritious food. The integration of Industry 4.0 technologies, such as AI, smart sensors, and big data analytics, offers promising avenues for optimizing various stages of the seafood value chain, from aquaculture to processing and waste management. Recent research highlights the potential of AI in enhancing feeding efficiency, optimizing resource utilization, and improving the extraction of valuable biomolecules from seafood by-products, thereby promoting a circular economy. While challenges related to the cost and integration of these technologies remain, the opportunities for enhanced sustainability, reduced environmental footprints, and improved resource efficiency are substantial. Future research and development should focus on overcoming these challenges and further exploring the synergistic potential of intelligent green technologies to achieve a truly sustainable and water-efficient Seafood 4.0 industry, contributing to global food security and environmental stewardship.

References

Ait-Kaddour, A., Boudalia, S., Özoğul, F., Çiçek, S., Cahyana, Y., Bhat, Z.F. (2024a). Chapter 3-Food Quality 4.0: contribution to sustainability. Food Industry 4.0. Emerging Trends and Technologies in Sustainable Food Production and Consumption. Developments in Food Quality and Safety, 35-59. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15516-1.00003-7

Ait-Kaddour, A., Hassoun, A., Tarchi, I., Loudiyi, M., Boukria, O., Cahyana, Y., Ozogul, F., Khwaldia, K. (2024b). Transforming plant-based waste and by-products into valuable products using various “Food Industry 4.0” enabling technologies: A literature review. Science of The Total Environment, 955, 176872. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176872

Beg, M., Saju, J., Alcock, K.M., Mavelil, A.T., Markapudi, P.R., Yu, H., Manjakkal, L. (2024). Biodegradable biopolymers for electrochemical energy storage devices in a circular economy. Royal Society of Chemistry RSC Sustainability, 3(1), 37-63. https://doi.org/10.1039/d4su00468j

Bigliardi, B., Filippelli, S., Pini, B., Falch, E., Gunduz, C.P.B., Hassoun, A. (2024). Chapter 2 - Industry 4.0 and food sustainability: role of automation, digitalization, and green technologies. Food Industry 4.0, Emerging Trends and Technologies in Sustainable Food Production and Consumption Developments in Food Quality and Safety, 15-33. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-15516-1.00002-5

Bruno, S.F., Ekorong, F.J.A.A., Karkal, S.S., Cathrine, M.S.B., Kudre, T.G. (2019). Green and innovative techniques for recovery of valuable compounds from seafood by-products and discards: A review. Trends in Food Science & Technology, 85, 10-22. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.004

Ejiohuo, O., Onyeaka, H., Akinsemolu, A., Nwabar, O.F., Siyanbola, K.F., Tamasiga, P., Al-Sharify, Z.T. (2025). Ensuring water purity: Mitigating environmental risks and safeguarding human health. Water Biology and Security, 4(2), 100341. https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100341

Erdemir, D., Dinçer, I. (2024). Development of renewable energy based green hydrogen and oxygen production and electricity generation systems for sustainable aquaculture. Journal of Cleaner Production, 434, 140081. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140081

Gkika, D.A., Tolkou, A.K., Katsoyiannis, I.A., Kyzas, G.Z. (2025). The adsorption-desorption-regeneration pathway to a circular economy: The role of waste-derived adsorbents on chromium removal. Seperation and Purification Technology, 368, 132996. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2025.132996

Guo, P., Wang, Y., Moghaddamfard, P., Meng, W., Wu, S., Bao, Y. (2024). Artificial intelligence-empowered collection and characterization of microplastics: A review. Journal of Hazardous Materials, 471, 134405. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.134405

Halder, S., Islam, M.R., Mamun, Q., Mahboubi, A., Walsh, P., Islam, M.D. (2025). A comprehensive survey on AI-enabled secure social industrial Internet of Things in the agri-food supply chain. Smart Agricultural Technology, 11, 100902. https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100902

Hassoun, A., Prieto, M.A., Carpena, M., Bouzembrak, Y., Marvin, H.J.P., Pallares, N., Barba, F.J., Bangar, S.P., Chaudhary, V., Ibrahim, S., Bono, G. (2022). Exploring the role of green and Industry 4.0 technologies in achieving sustainable development goals in food sectors. Food Research International, 162, Part B, 112068. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112068

Hassoun, A., Cropotova, J., Trollman, H., Jagtap, S., Garcia-Garcia, G., Parla-Lopez, C., Nirmal, N., Özoğul, F., Bhat, Z., Ait-Kaddour, A., Bono, G. (2023). Use of industry 4.0 technologies to reduce and valorize seafood waste and by-products: A narrative review on current knowledge. Current Research in Food Science, 6, 100505, https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100505

Hassoun, A., Dankar, I., Bhat, Z., Bouzembrak, Y. (2024). Unveiling the relationship between food unit operations and food industry 4.0: A short review. Heliyon, 10 (20), e39388. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39388

Judge, M.A., Franzitta, V., Curto, D., Guercio, A., Cirrincione, G., Khattak, H.A. (2024). A comprehensive review of artificial intelligence approaches for smart grid integration and optimization. Energy Conversion and Management: X, 24, 100724. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2024.100724

Kachiyappan, T., Ettiyagounder, P., Selvaraj, P.S., Ramanujam, K. (2025). Transforming waste into value: Advancements in protein recovery and functional product development from wastewater sources. Decalination and Water Treatment, 321, 101044. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101044

Kuang, S., Wang, H., Su, Y., Tang, J., Luo, M., Mao, C., Ren, X., Chen, B., Lu, X., Fu, Y.(2025). Recent advancements on elimination of emerging contaminants by homogeneous metal-catalyzed sulfur(IV) oxidation. Chemical Engineering Science, 307, 121320. https://doi.org/10.1016/j.ces.2025.121320

Kurniawan, T.A., Meidiana, C., Goh, H.H., Zhang, D., Othman, M.H.D., Aziz, F., Anouzla, A., Sarangi, P.K., Pasaribu, B., Ali, I. (2024). unlocking synergies between waste management

and climate change mitigation to accelerate decarbonization through circular-economy digitalization in Indonesia. Sustainable Production and Consumption, 46, 522-542. https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.011

Maraksa, K., Suyotha, W., Cheirsilp, B. (2025). Production of alpha-and beta-chitin, chitosan and protein hydrolysate from seafood processing wastes using an integration of lactic acid and digestive protease from fish viscera as alternative green extraction. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 64, 103466. https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103496

Murali, S., Krishnan, V.S., Amulya, P.R., Alfiya, P.V., Delfiya, D.S.A., Samuel, M.P. (2021). Energy and water consumption pattern in seafood processing industries and its optimization methodologies. Cleaner Engineering and Technology, 4, 100242. https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100242

Onyeaka, H., Akinsemolu, A., Miri, T., Nnaji, N.D., Duan, K., Pamg, G., Tamasiga, P., Khalid, S., Al-Sharify, Z.T., Ugwa, C. (2025). Artificial intelligence in food system: Innovative approach to minimizing food spoilage and food waste. Journal of Agriculture and Food Research, 21, 101895. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101895

Padilla-Esquivel, C.A., Lopez-Flores, F.J., Hernandez-Perez, L.G., Rubio-Castro, E., Ponce-Ortega, J.M. (2025). Optimizing green urea production: Integration of process simulation, artificial intelligence, and sustainable technologies. Journal of Cleaner Production, 501, 145371. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145371

Pandey, V., Pant, M., Snasel, V. (2022). Blockchain technology in food supply chains: Review and bibliometric analysis. Technology in Society, 69, 101954. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101954

Paris, J.M.G., Escobar, N., Falkenberg, T., Gupta, S., Heinzel, C., Junior, E.V., Jolliet, O., Borgemeister, C., Nöthlings, U. (2024). Optimised diets for achieving One Health: A pilot study in the Rhine-Ruhr Metropolis in Germany. Environmental Impact Assessment Review, 106, 107529. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2024.107529

Rani, P., Sharma, P., Gupta, I. (2024). Toward a greener future: A survey on sustainable blockchain applications and impact. Journal of Environmental Management, 354, 120273. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120273

Rowan, N.J., Murray, N., Qiao, Y., O'Neill, E., Clifford, E., Balcelo, D., Power, D.M. (2022). Digital transformation of peatland eco-innovations ('Paludiculture'): Enabling a paradigm shift towards the real-time sustainable production of 'green-friendly' products and services. Science of The Total Environment, 838, Part 3, 156328. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156328

Saad, A., Baikas, A., Remen, M., Bjornson, F.O. (2024). Optimizing Feeding Strategies in Aquaculture Using Machine Learning: Ensuring Sustainable and Economically Viable Fish Farming Practices. Procedia Computer Science, 246, 4712-4721. https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.336

Shabir, I., Dash, K.K., Dar, A.H., Pandey, V.K., Fayaz, U., Srivastava, S., Nisha, R. (2023). Carbon footprints evaluation for sustainable food processing system development: A

comprehensive review. Future Foods, 7, 100215. https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100215

Shidhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P.S., Kapoor, A., Vo, D.V.N., Rangasammy, G. (2023). Digitalization of the agro-food sector for achieving sustainable development goals: a review. Royal Society of Chemistry, Sustainable Food Technology, 1(6), 783-802. https://doi.org/10.1039/d3fb00124e

Sirinivasan, A., Gupta, A., Narayanamurthy, V. (2025). A comprehensive review of AI-based collagen valorization: Recent trends, innovations in extraction, and applications. Green Analytical Chemistry, 12, 100212. https://doi.org/10.1016/j.greeac.2025.100212

Sriprateep, K., Pitakaso, R., Khonjun, S., Luesak, P., Jutagate, A., Kaewta, C., Srichok, T., Kosacka-Olejnik, M., Matitopanum, S. (2025). Optimizing Nile Tilapia growth and production costs in earthen ponds using multi-objective adaptive artificial intelligence systems. Aquaculture Reports, 41, 102716. https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2025.102716

Soo, X.Y.D., Ong, P.J., Lim, Y.K.Z., Wang, S., Thitsartarn, W., Wang, F., Kong, J., Ji, R., Tomczak, N., Tan, B.H., Wang, P., Xu, J., Loh, X.J., Zhu, Q. (2025). Recent advances in low-temperature phase change materials for cold chain logistics. International Journal of Refrigeration, 174, 232-251. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2025.03.011

Tariq, R., Ali, M., Sheikh, N.A., Shahzad, M.W., Xu, B.B. (2023). Deep learning artificial intelligence framework for sustainable desiccant air conditioning system: Optimization towards reduction in water footprints. International Communications in Heat and Mass Transfer, 140, 106538. https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2022.106538

Thamarai, P., Deivayanai, V.C., Saravanan, A., Vickram, A.S., Yaashikaa, P.R. (2024). Carbon mitigation in agriculture: Pioneering technologies for a sustainable food system. Trends in Food Science & Technology, 147, 104477. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104477

Toushik, S.H., Park, J.H., Kim, K., Ashrafudoulla, M., Ulrich, M.S.I., Mizan, M.F.R., Roy, P.K., Shim, W.B., Kim, Y.M., Park, S.H., Ha, S.D. (2022). Antibiofilm efficacy of *Leuconostoc mesenteroides* J.27-derived postbiotic and food-grade essential oils against *Vibrio parahaemolyticus*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Escherichia coli* alone and in combination, and their application as a green preservative in the seafood industry. Food Research International, 156, 111163. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111163

Wang, Y., Zhang, R., Yao, K., Ma, X. (2024). Does artificial intelligence affect the ecological footprint? –Evidence from 30 provinces in China. Journal of Environmental Management, 370, 122458. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122458

Yang, H., Feng, Q., Xia, S., Wu, Z., Zhang, Y. (2025). AI-driven aquaculture: A review of technological innovations and their sustainable impacts. Artificial Intelligence in Agriculture, In Press, https://doi.org/10.1016/j.aiia.2025.01.012

Zhang, Z., Liu, H., Jin, J., Zhu, X., Han, D. (2024). Towards a low-carbon footprint: Current status and prospects for aquaculture. Water Biology and Security, 3(4), 100290. https://doi.org/10.1016/j.watbs.2024.100290

SONDA ROKETİ AERODİNAMİĞİ ÜZERİNDE FARKLI TÜRBÜLANS MODELLERİNİN HAD YÖNTEMİYLE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Ebru Sena ERGENÇ
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
ergencebru61@gmail.com - ORCID ID: 0009-0003-8137-3414

Doç. Dr. Özge ALTUN
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
okutlu@ogu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-0958-333X

Dr. Öğr. Üyesi Zerrin SERT
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi,
zbocu@ogu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-6934-5443

ÖZET

Bu çalışmada, bir sonda roketinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemiyle aerodinamik analizinin gerçekleştirilmesi ve farklı türbülans modellerinin sürüklenme katsayısı (C_D) üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılacak olan roket, öncelikle FUSION 360 programı kullanılarak üç boyutlu olarak tasarlanmış, ardından ANSYS SpaceClaim, DesignModeler ve Fluent yazılımları aracılığıyla aerodinamik dış akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Akış analizleri, sabit hız ve basınç sınır koşulları altında yürütülmüş ve beş farklı türbülans modeli (SST k-ω, Standart k-ω, Standart k-ε, RNG k-ε, Realizable k-ε) karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, referans model olarak kabul edilen SST k-ω ile elde edilen C_D değeri 0,3345 olarak hesaplanmıştır. Diğer modellerle karşılaştırıldığında, Standart k-ω modeli en düşük sürüklenme katsayısını (%6,88 farkla), Standart k-ε modeli ise en yüksek C_D değerini (%3,33 farkla) vermiştir. Ayrıca akış görselleştirmeleri, burun konisi ucunda yüksek basınç bölgeleri ve kuyruk kısmında akış ayrılmasına bağlı olarak oluşan devirdaim bölgelerini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, türbülans modeli seçiminin roket tasarımı ve aerodinamik performans tahminleri üzerinde belirleyici etkisi olduğunu göstermektedir. Çalışma sonunda, roketin aerodinamik verimliliğini artırmaya yönelik tasarımsal öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sonda Roketi, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD), Ses Altı Akış, Türbülans Modelleri, Sürüklenme Katsayısı (C_D), Aerodinamik Analiz

1. GİRİŞ

Uzay araştırmaları ve atmosferik veri toplama çalışmaları kapsamında sonda roketleri, yörünge altı uçuşlar gerçekleştirebilen, görece düşük maliyetli ve kısa süreli görevler için ideal araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu roketler genellikle katı yakıtlı motor sistemleriyle çalışmakta ve taşıdıkları bilimsel yükler aracılığıyla atmosferin üst katmanlarında ölçümler gerçekleştirebilmektedir. Sonda roketleri, özellikle uyduların erişemediği irtifalarda veri toplama yetenekleri sayesinde hem bilimsel hem de mühendislik açısından kritik bir rol üstlenmektedir [1].

Bu tür hava aracı sistemlerinin tasarımında, aerodinamik performans büyük önem arz etmektedir. Aerodinamik, hava akışının cisimler etrafındaki davranışlarını inceleyen bir mühendislik disiplini olup; hava direncinin (sürüklenme), kaldırma kuvvetinin ve genel akış karakteristiklerinin anlaşılması ve yönetilmesini sağlamaktadır. Aerodinamik olarak optimize edilmiş bir tasarım, hava direncini azaltarak hem uçuş kararlılığını hem de yakıt verimliliğini artırmakta; böylece daha stabil ve verimli bir uçuş profili elde edilmektedir [2,3].

Roket sistemlerinde uçuş performansını etkileyen temel aerodinamik kuvvetlerden biri sürüklenme kuvvetidir. Bu kuvvet, roketin hareketine zıt yönde etki eder ve onun hızlanmasını, menzilini ve yakıt verimliliğini sınırlar. Bu kuvvetin büyüklüğü, roketin geometrisine, uçuş hızına, çevresel koşullara (havanın yoğunluğu vb.) ve özellikle sürüklenme katsayısına bağlıdır. Düşük sürüklenme katsayısı, roketin daha az hava direncine maruz kalmasını sağlayarak yakıt tüketimini azaltmakta ve menzilini artırmaktadır [4]. Bu nedenle roket tasarım süreçlerinde sürüklenme katsayısının doğru tahmin edilmesi ve minimize edilmesi hedeflenmektedir.

Son yıllarda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yöntemleri, roket tasarımlarının aerodinamik analizinde önemli bir araç haline gelmiştir. HAD simülasyonları sayesinde, rüzgâr tüneli deneylerine gerek kalmadan farklı tasarım parametrelerinin sürüklenme katsayısı üzerindeki etkileri detaylı biçimde incelenebilmektedir. Aytaç ve Aktaş [5], ses altı hızlarda çalışan bir roket üzerinde yaptıkları HAD analizinde, Mach sayısı ve türbülans modellerinin sürüklenme katsayısı üzerindeki etkilerini incelemiş ve Mach sayısındaki artışın sürüklenme katsayısını artırdığını bulmuşlardır. Ayrıca kullanılan türbülans modelinin sonuçlar üzerinde belirleyici olduğu vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Hammargren [6], sondaj roketlerinin aerodinamik kararlılığını değerlendirmiş ve aerodinamik parametrelerin uçuş güvenliği açısından önemine dikkat çekmiştir. Deibi Lopez ve çalışma arkadaşları ise farklı türbülans modelleriyle elde edilen sürüklenme katsayısı sonuçlarını karşılaştırmış; SST k–ω türbülans modelinin, RNG k–ε modeline kıyasla daha doğru sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır [7].

Goucem ve Khiri [8] konik burunlu silindirik bir gövdeden, gövdenin önünde dört düz plakadan ve gövde üzerinde düzgün şekilde düzenlenmiş dört düz plakalı arka kanatları olan roketin aerodinamik özelliklerini sayısal olarak hesaplamışlardır. Mach sayısının değişimine bağlı olarak yapılan analizler sonucunda düz plaka sapma açısının iyileştirilmesinin süpersonik roketin daha verimli ve etkili bir akışına yol açabileceğini tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada beş farklı türbülans modeli (SST k-ω, Standart k-ω, Standart k-ε, RNG k-ε, Realizable k-ε) için sabit hız ve basınç sınır koşulları altında akış analizleri yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, çalışma ile türbülans modellemesinin roket aerodinamiği üzerindeki belirleyici etkisi ortaya koyulmuş ve sayısal analizlerle desteklenmiş mühendislik önerileri sunulmuştur.

2. PROBLEMİN TANIMI

Bu çalışmada, ses altı akış rejimde uçuş gerçekleştiren bir sonda roketinin aerodinamik performansının, farklı türbülans modelleri altında incelenmesi amaçlanmıştır. Roketin aerodinamik davranışını etkileyen temel faktörlerden biri olan sürüklenme katsayısı (C_D), özellikle türbülans modeline bağlı olarak önemli değişkenlikler gösterebilmektedir. Bu nedenle analizlerde yalnızca hız ve tasarım parametreleri sabit tutulmuş, türbülans modellerinin C_D üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Analiz sürecinin ilk adımında roket, OpenRocket programı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan roketin toplam uzunluğu 2620 mm olup, simetrik yerleştirilmiş dört adet kanatçığa sahiptir. Roket geometrisine ilişkin genel görünüm Görsel 1'de verilmiştir.



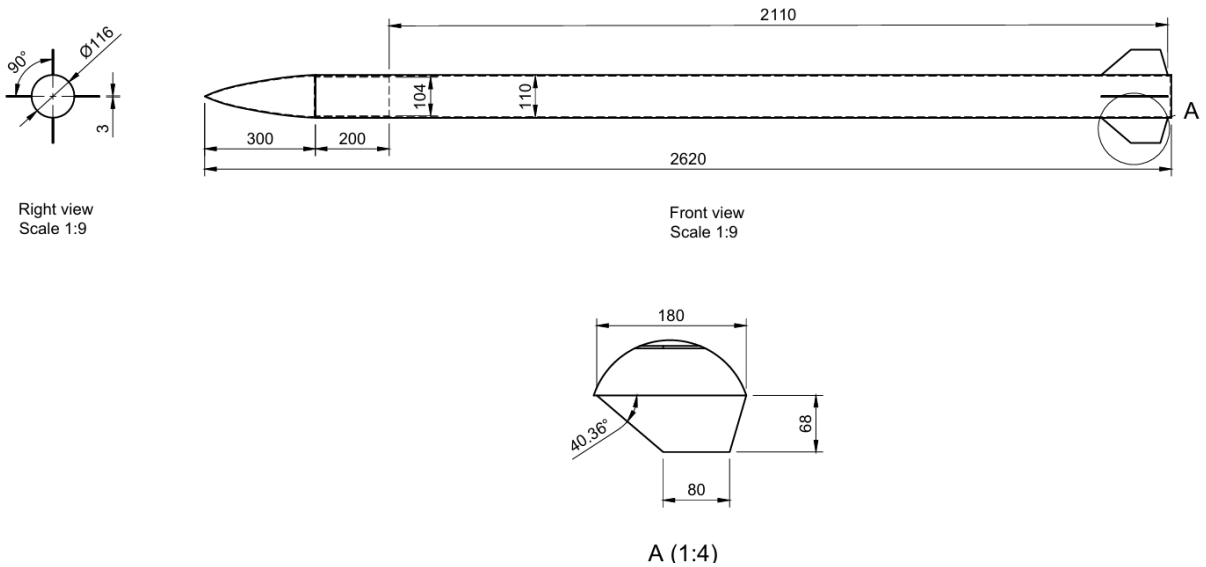
Görsel 1. OpenRocket Programında Tasarlanan Roket Geometrisi

OpenRocket yazılımı sayesinde roketin maksimum hız, irtifa gibi uçuş karakteristikleri hesaplanmış; bu sayısal veriler Çizelge 1'de özetlenmiştir. OpenRocket, açık kaynaklı, ücretsiz bir roket tasarım ve simülasyon yazılımı olarak bilinir ve roket sistemlerinin ilk tasarım ve performans tahmini aşamasında etkili bir araçtır.

Çizelge 1. Openrocket Programından Elde Edilen Uçuş Verileri

Roket Adı	$V_{maksimum}$ *(m/s)*	İrtifa (m)
Rocket	291	3717

OpenRocket ortamında gerçekleştirilen ön tasarım aşamasının ardından, elde edilen temel boyutsal ve yapısal veriler esas alınarak roketin üç boyutlu modeli Autodesk Fusion 360 yazılımı kullanılarak detaylı şekilde oluşturulmuştur. Hazırlanan 3-Boyutlu CAD modeli, daha sonra ANSYS SpaceClaim ortamına aktarılmıştır. Modelin nihai hâli, ANSYS Fluent yazılımında yürütülecek Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri için gerekli olan sayısal çözüm ağı (mesh) oluşturulmasına uygun bir yapıya getirilmiştir. Roketin teknik çizimi ve ayrıntılı geometrik görünümü Görsel 2'de sunulmakta olup, bu görsel aynı zamanda analizde esas alınan fiziksel yapının genel hatlarını ortaya koymaktadır.

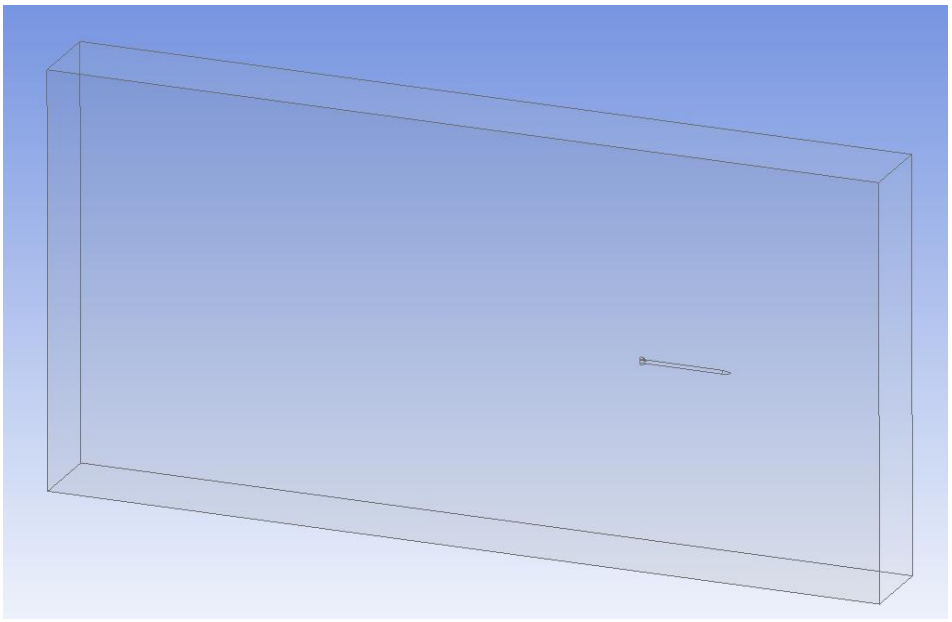


Görsel 2. Roketin Teknik Resmi

2.1. Geometri ve Ağ Yapısı

Roketin CAD modeli, ANSYS SpaceClaim ve DesignModeler yazılımları kullanılarak Fluent analiz ortamına uygun hale getirilmiştir. Akış analizi için gerekli olan hava tüneli geometrisi, roketin uzunluğunun 10 katı (26.200 mm) olarak belirlenmiştir. Hava tünelinin yüksekliği 13.100 mm, genişliği ise 5.240 mm olarak oluşturulmuştur. Görsel 3'te görüldüğü üzere, hava tünelinin çıkış (arka) kısmı, giriş kısmına göre daha uzun tasarlanmıştır. Bu tasarım tercihi, özellikle roketin arka bölümünde meydana gelebilecek türbülanslı akış ayrılmaları**,** iz bölgesi (wake region) oluşumları ve bu bölgedeki basınç değişimleri gibi karmaşık akış davranışlarının daha sağlıklı şekilde incelenmesini amaçlamaktadır. Ayrıca çıkış bölgesinin uzatılması, geri yansıyan akışların (reverse flow) çözüm alanını etkilemesini önleyerek, analiz sonuçlarının doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmaktadır. Böylece, özellikle kuyruk kısmında ortaya çıkan vorteks yapılarının gelişimi**,** akış ayrılma noktalarının yeri ve basınç dağılımındaki dengesizlikler daha net bir şekilde gözlemlenebilmekte ve sayısal olarak analiz edilebilmektedir. Bu yaklaşım, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinde yaygın olarak kullanılan bir uygulama

olup, çözüm sınırlarının fiziksel olarak anlamlı bir uzaklığa yerleştirilmesini ve sınır etkilerinin azaltılmasını da sağlamaktadır.



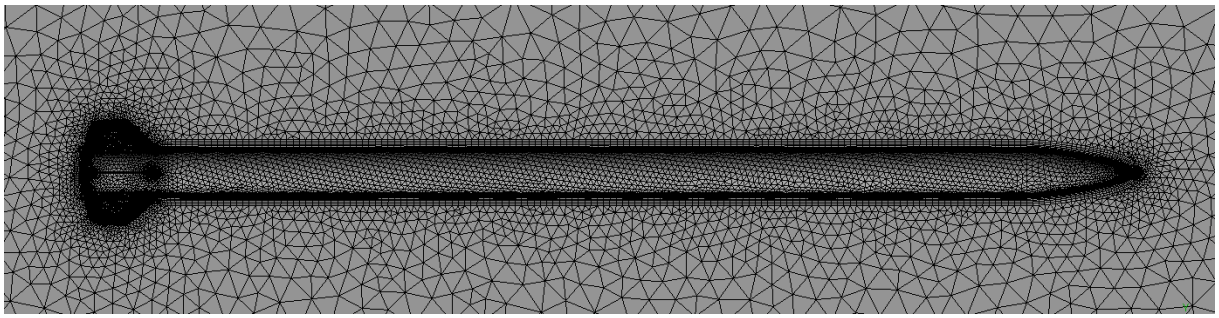
Görsel 3. Ansys Spaceclaim'de Oluşturulan Hava Tüneli ve Roket Geometrisi

Aerodinamik analizde kullanılan ağ yapısı, ANSYS Fluent yazılımı ile oluşturulmuş ve çözüm kalitesi açısından detaylı şekilde değerlendirilmiştir. Meş kalitesi kontrolleri gerçekleştirilmiş olup, hedef eğrilik (skewness) değeri 0,8 olarak belirlenmiştir. Uygulanan düzleştirme (smoothing) seviyesi "Orta" olarak seçilmiştir. Eğrilik metriklerine göre minimum eğrilik 7,9154e-004, maksimum eğrilik 0,83766, ortalama eğrilik 0,2966 ve standart sapma 0,16208 olarak elde edilmiştir. Bu değerler, ağ yapısının genel olarak kabul edilebilir kalitede olduğunu göstermektedir. Meş yapısı toplamda 228.761 düğüm (node) ve 669.454 eleman (element) içermektedir. Bu detaylı ve kaliteli meş yapısı, sonda roketi üzerindeki aerodinamik kuvvetlerin hassas bir şekilde hesaplanmasına olanak tanımış ve simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini artırmıştır. Ağ yapısına ait genel bilgiler Görsel 4'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Display	
Defaults	
Sizing	
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Target Skewness	0,8
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
Min	7,9154e-004
Max	0,83766
Average	0,2966
Standard Deviation	0,16208
Inflation	
Advanced	
Statistics	
Nodes	228761
Elements	669454

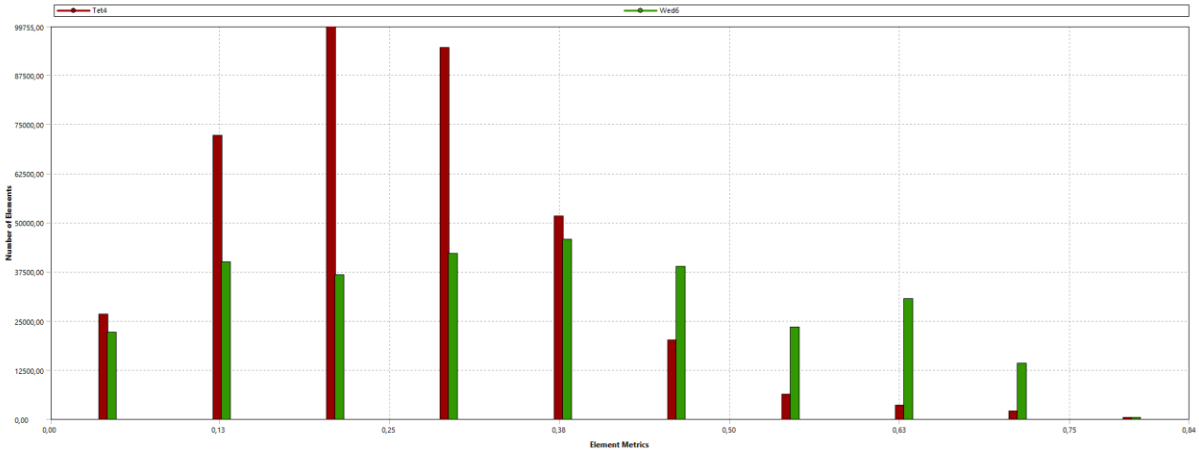
Görsel 4. Ağ Yapısı İstatistiği

Roketin yüzeyine yakın bölgelerde daha yoğun bir ağ yapısı oluşturulmuş, sınır tabakanın doğru çözümleyebilmesi amacıyla “First Layer Thickness” yöntemi uygulanmıştır. Ağ yoğunluğu sınır yüzeye yakın bölgelerde yüksek tutulmuş, uzaklaştıkça dereceli olarak azaltılmıştır (Görsel 5). Bu yapı, sınır tabaka akışının sağlıklı çözümlenebilmesi için büyük önem taşımaktadır.



Görsel 5. Roketin Ağ Yapısı

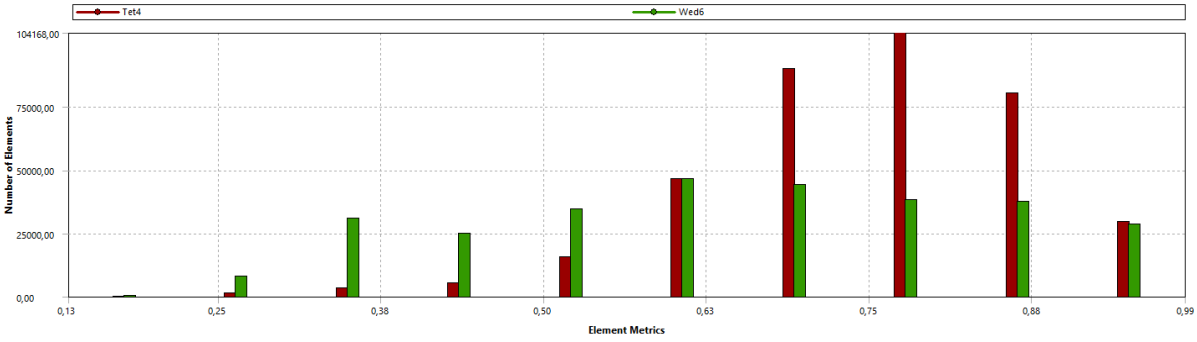
Oluşturulan ağ yapısı, çeşitli kalite kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Literatürde çoğu akış için maksimum çarpıklık değerinin 0,95’ten küçük, ortogonal kalitenin ise 0,1’den büyük olması gerektiği belirtilmektedir [9]. Bu çalışmada elde edilen maksimum çarpıklık değeri 0,83766, ortalama çarpıklık değeri ise 0,2966 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, ağ yapısının analiz için uygun kalitede olduğunu göstermektedir. Görsel 6’da ise eleman sayısına karşılık gelen çarpıklık dağılım grafiği sunulmuştur.



Görsel 6. Eleman Sayısı/Çarpıklık Metriği Grafiği

Ağ kalitesinin değerlendirilmesinde bir diğer önemli kriter olan ortogonal kalite, elemanların yüzeylere ve komşu elemanlara göre düzgünlüğünü ifade etmektedir. Yapılan analiz sonucunda minimum ortogonal kalite değeri 0,1347, ortalama ortogonal kalite değeri ise 0,70253 olarak hesaplanmıştır. Literatürde, başarılı bir akış çözümü için minimum ortogonal kalite değerinin 0,1'den büyük olması gerektiği belirtilmektedir [9]. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, bu kriteri sağlamakta olup, ağ yapısının analiz için uygun olduğunu göstermektedir.

Şekil 7'de ise eleman sayısına göre ortogonal kalite metriğinin dağılım grafiği sunulmuştur. Bu grafik, ağ (mesh) yapısındaki hücrelerin şekilsel doğruluğu hakkında nicel bilgi sağlamakta olup, özellikle sayısal çözümün kararlılığı ve doğruluğu açısından kritik öneme sahiptir. Ayrıca bu grafiğe göre, ağ kalitesinin genel düzeyde kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğunu ve çözüm doğruluğunu olumsuz etkileyecek düzensizliklerin bulunmadığını desteklemektedir.



Görsel 7. Eleman Sayısına Göre Ortogonal Kalite Metriği Grafiği

2.2. Sınır Şartları

Bu çalışmada yapılan aerodinamik analizler, ANSYS Fluent 2020 R2 sürümü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çözümleme sürecinde, basınç temelli (Pressure-Based) çözücü tercih edilmiş ve sürekli rejimde (Steady-State) çözüm alınmıştır. Türbülans modeli olarak ise SST k-ω modeli kullanılmıştır. Bu model, özellikle sınır tabaka çözümlemelerinde yüksek hassasiyet sağlaması ve ayrılma bölgelerinin doğru tahmin edilmesine olanak tanıması nedeniyle tercih edilmiştir. Analiz için kullanılan temel çözüm parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Analiz Girdileri ve Çözüm Yöntemleri

SOLVER TYPE	Pressure-Based	
SOLVER TIME	Steady-State	
VISCOUS MODEL	SST k-omega	
SOLUTION METHODS	Scheme:	Couple
	Gradient:	Least Squares Cell Based
	Pressure:	Second Order
	Density:	Second Order Upwind
	Momentum:	Second Order Upwind
	Turbulent Kinetic Energy	Second Order Upwind
	Specific Dissipation Rate:	Second Order Upwind
	Energy:	Second Order Upwind

Akış ortamı olarak modellenen hava tünelinde, roketin yerleştirildiği kanalın giriş yüzeyi "Velocity Inlet" (hız giriş) ve çıkış yüzeyi "Pressure Outlet" (basınç çıkışı) sınır koşullarıyla tanımlanmıştır. Giriş sınır koşulu olarak roketin OpenRocket analizinden elde edilen hız değeri olan 291 m/s kullanılmıştır. Çıkış sınır koşulu ise atmosfer basıncı referans alınarak 0 Pascal olarak tanımlanmıştır. SST k-ω türbülans modeli, sınır tabakasının yüksek doğrulukta çözülmesini sağlamakta ve akış ayrımı gibi karmaşık akış yapılarını doğru bir şekilde modelleyebilmektedir. Bu nedenle, bu tür analizlerde sıklıkla önerilen bir modeldir.

Akışkanlar dinamiği alanında, sürükleme katsayısı, bir nesnenin hava veya su gibi bir akışkan ortamında maruz kaldığı sürükleme veya direnç miktarını belirlemek için kullanılan bir

boyutsuz niceliktir. Sürükleme denkleminde kullanılır ve daha düşük bir sürükleme katsayısı, nesnenin daha az aerodinamik veya hidrodinamik sürüklemeye sahip olacağını ifade eder. Sürükleme katsayısı her zaman belirli bir yüzey alanına bağlı olarak değerlendirilir. Sürüklenme katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanır [10];

$$C_D = \frac{2F_D}{\rho u^2 A} \tag{1}$$

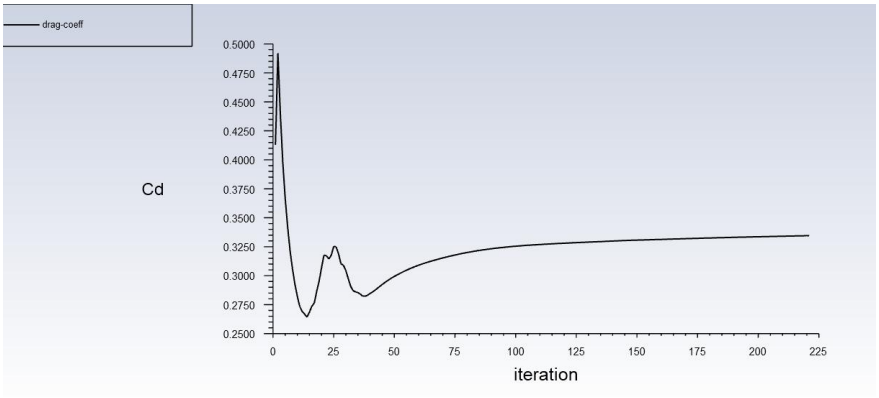
Sürekli rejimde Newtonyen akışlar için süreklilik denklemi;

$$\nabla \vec{v} = 0 \tag{2}$$

Momentum denklemi;

$$\rho(\vec{v}.\nabla)\vec{v} = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f} \tag{3}$$

Yapılan çözümleme yaklaşık 221 iterasyon sonunda yakınsamıştır. Akış çözümünün yakınsaması, artık değerlerinin belirli bir toleransın altına düşmesiyle gözlemlenmiştir. Analiz sonucunda roketin sürüklenme katsayısı (C_D) değeri 0,33452111 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuca ait çözüm çıktısı Görsel 8'de gösterilmektedir.



Cd	()
rocket	0.33452111

Görsel 8. Yakınsama Süreci Sonucunda Elde Edilen C_D Katsayısı

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

ANSYS Fluent yazılımında kullanılan türbülans modelleri, akışkanlar içindeki düzensiz ve kararsız hareketlerin sayısal olarak modellenmesini sağlar. Bu modeller, özellikle yüksek Reynolds sayılı akışlarda, akış davranışlarının doğru şekilde tahmin edilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Fluent'te yaygın olarak kullanılan türbülans modelleri arasında Standart k-ε, RNG k-ε, Realizable k-ε, Standart k-ω ve SST k-ω yer alır. Her bir modelin doğruluk seviyesi ve hesaplama maliyeti farklı olup, seçim; analiz edilecek akış tipi, sınır tabaka davranışı ve çözüm hassasiyetine bağlı olarak yapılır. Özellikle SST k-ω modeli, sınır tabakada hassas sonuçlar sunması ve akış ayrılmalarını başarılı bir şekilde yakalayabilmesi nedeniyle roket gibi dış akış analizlerinde sıkça tercih edilmektedir. Bu yüzden yapılan analizlerde, SST k-ω türbülans modeli referans alınarak farklı türbülans modellerinin sürüklenme katsayısı (C_D) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen C_D değerleri, Çizelge 3'te özetlenmiştir.

Çizelge 3. Türbülans Modelleri ve C_D Katsayısı

Türbülans Modelleri	C_D
SST k-ω	0,33452111
Standart k-ω	0,31151826
Standart k-ε	0,34566009
RNG k-ε	0,31440866
Realizable k-ε	0,32099122

Çizelge 3'te sunulan sonuçlara göre, SST k-ω modeli referans alınarak yapılan karşılaştırmalarda:

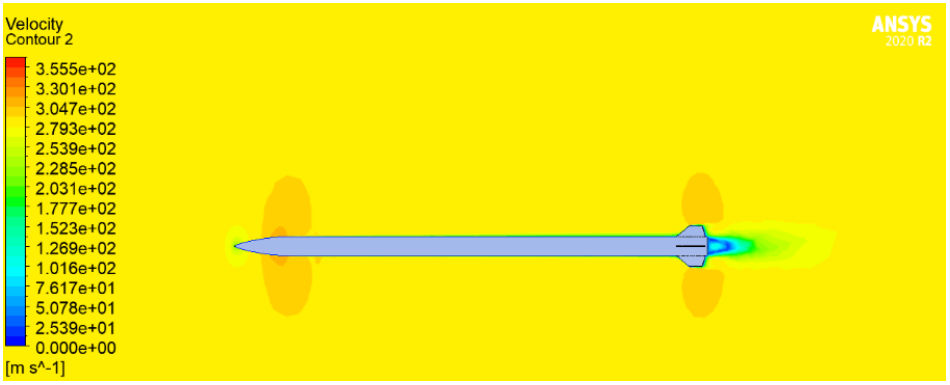
- Standart k-ω ve RNG k-ε modelleri, daha düşük C_D değerleri vermiştir. Bu durum, bu modellerin türbülansı daha kaba bir şekilde tahmin ettiğini ve akış ayrışmalarını yeterince iyi yakalayamadığını göstermektedir.

- Standart k-ε modelinde ise en yüksek C_D değeri elde edilmiş ve türbülans ayrışmasını abartılı biçimde modellediği sonucunu doğurmuştur. Standart k-ε modeli, birçok pratik mühendislik uygulamasında ve ilk tasarım aşamalarında tercih edilen bir modeldir. Fakat roketin etrafındaki sınır tabaka dışında kalan bölgelerde çözüm doğruluğunun azalabileceği bilinmektedir.

- Realizable k-ε modeli ise, C_D değeri bakımından SST k-ω modeline en yakın sonucu vermiştir. Bu model, özellikle sınır tabaka akışlarında daha doğru tahminler yapabildiğinden, SST modeline alternatif olarak tercih edilebilir.

Elde edilen bu sonuçlar, türbülans modelinin seçiminde yapılacak tercihin, aerodinamik analiz sonuçlarını anlamlı derecede etkileyebileceğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle, türbülans modelinin seçiminde geometri, akış rejimi ve çözüm hassasiyetine göre dikkatli bir yaklaşım benimsenmelidir.

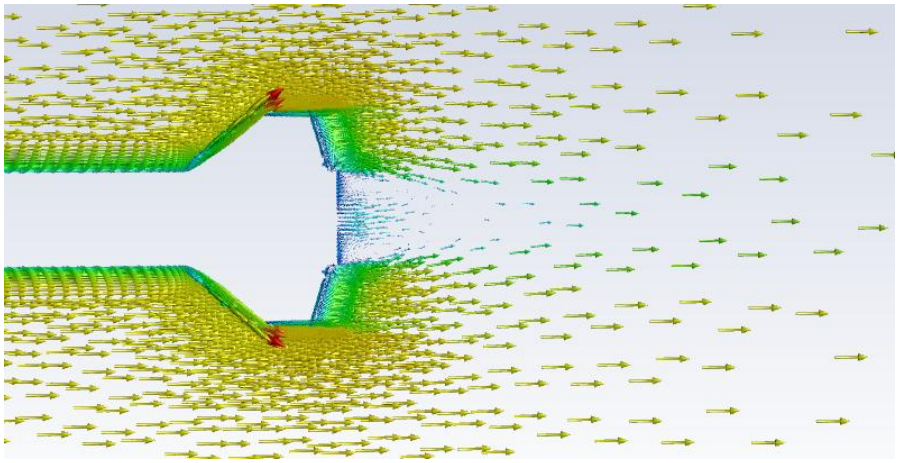
Analiz edilen rokete ait hız kontürü Görsel 9'da verilmiştir.



Görsel 9. Roket Hız Kontürü

Hız kontur grafiği incelendiğinde, roketin burun kısmında yer alan durma noktası (stagnation point) açıkça görülmektedir. Bu noktada akış, yüzeye çarptığı için hızı sıfıra düşmekte ve basınç maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Bu bölge, basınç sürüklenmesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Roketin yüzeyi boyunca, hız konturlarında sıfıra yakın değerler gözlemlenmiştir. Bu durum, yüzey üzerinde kaymama koşulunun (no-slip condition) geçerli olduğunu ve akışın yüzeye yapıştığını göstermektedir. Burun kısmında oluşan yüksek basınç bölgesi, aerodinamik verimliliği azaltıcı bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, burun konfigürasyonunun optimize edilmesi, basınç kaynaklı sürüklenmenin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir.

Görsel 10'da sunulan hız vektörü dağılımı incelendiğinde, roket yüzeyine yakın bölgelerde hız vektörlerinin büyüklüğünde belirgin bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, kaymama koşulunun (no-slip condition) etkisini doğrulamaktadır. Akışkanın katı yüzeyle temas ettiği bölgelerde hızının sıfıra yaklaşması, bu fiziksel sınır koşulunun tipik bir sonucudur ve akış çözümlemesinde beklenen bir davranıştır.

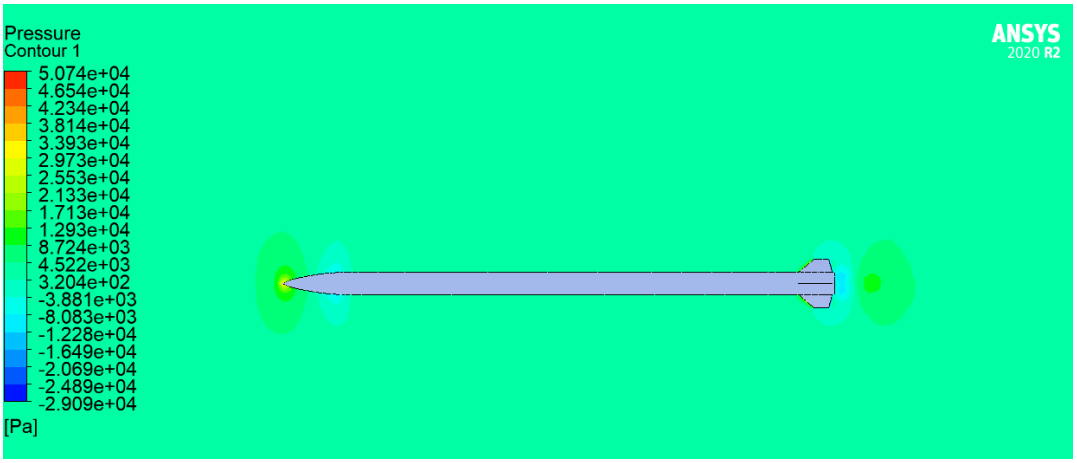


Görsel 30. Roket Hız Vektörü

Roketin arka kısmında ise düşük hız bölgeleri ve ters yönlü vektörlerin yer aldığı bir devirdaim (recirculation) bölgesi oluşmuştur. Bu bölge, akışın gövdeden ayrılmasıyla birlikte meydana gelmekte olup, özellikle türbülans etkilerinin yoğunlaştığı bir alanı temsil etmektedir. Akışın bu şekilde gövdeden ayrılması, basınç farkı yaratarak C_D'nin artmasına neden olur.

Devirdaim bölgesi, roketin genel aerodinamik verimliliğini düşüren önemli bir etkendir. Bu bölgenin etkisini azaltmak amacıyla; kuyruk geometrisinin yeniden tasarlanması, yüzey eğimlerinin optimize edilmesi, akışı yönlendiren aerodinamik düzenleyicilerin (örneğin "boat-tail" yapılarının) kullanılması aerodinamik verimliliğini artıracak çözümler arasındadır. Bu tür tasarım değişiklikleri, özellikle ses altı ve transonik hızlarda uçuş gerçekleştiren roket sistemlerinde sürüklenmenin azaltılmasına ve dolayısıyla menzil, hız ve yakıt verimliliğinin artırılmasına doğrudan katkı sağlayabilir.

Yapılan analiz sonucunda elde edilen basınç kontürü (Görsel 11), roket etrafındaki basınç dağılımını ayrıntılı bir şekilde ortaya koymaktadır. Basınç dağılımı incelediğinde, roketin burun kısmında yüksek basınç bölgelerinin oluştuğu net bir biçimde gözlemlenmektedir. Bu yüksek basınç, akışkanın roketin burnu ile ilk temas ettiği noktada, yani durma noktası (stagnation point) olarak adlandırılan bölgede meydana gelmektedir. Akışkan burada kinetik enerjisini kaybetmekte, basıncı artmakta ve maksimum basınç değerine ulaşmaktadır.



Görsel 11. Roket basınç kontürü

Bununla birlikte, roketin arka kısmında belirgin negatif basınç bölgeleri tespit edilmiştir. Bu düşük basınç alanları, akışın gövdeden ayrıldığı ve iz bölgesi oluşturduğu yerlerde görülmektedir. Bu durum, akış ayrılmasının ve türbülans etkilerinin göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Roketin arka kısmındaki bu tür düşük basınç bölgeleri, toplam sürüklenme üzerinde basınç sürüklenmesi bileşeninin artmasına yol açmakta ve genel aerodinamik verimliliği olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kontur grafiği, roket tasarımında özellikle burun konisinin aerodinamik açıdan optimize edilmesinin önemini vurgulamakta; ayrıca kuyruk kısmında oluşan düşük basınç bölgelerinin etkilerini azaltmak için tasarım müdahalelerine ihtiyaç duyulabileceğini göstermektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı türbülans modellerinin ses altı hızlarda hareket eden bir sonda roketinin sürüklenme katsayısı (C_D) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Roket, OpenRocket programında ön tasarımı yapıldıktan sonra Fusion 360'ta üç boyutlu olarak modellenmiş ve ANSYS Fluent ortamında Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri gerçekleştirilmiştir. Akış analizi için çeşitli türbülans modelleri kullanılmış ve bu modellerin aerodinamik performans tahminlerine etkisi karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Referans olarak alınan SST k-ω türbülans modeli, sınır tabaka çözümlemelerinde ve ayrılma bölgelerinde yüksek doğruluk sağlamış ve C_D = 0,33452111 değeriyle temel karşılaştırma noktası olarak kullanılmıştır. Diğer modellerle karşılaştırıldığında:

- Standart k-ω modeli, C_D = 0,31151826 ile en düşük sürüklenme katsayısını vermiştir. Bu değer, referans modele göre yaklaşık *%6,88* daha düşük bir değere sahiptir. Bu farkın türbülans ayrışmasını yeterince doğru modelleyememesinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

- Standart k-ε modeli, C_D = 0,34566009 değeriyle en yüksek sonucu üretmiş ve referans değere kıyasla *%3,33* daha yüksek bir değer elde edilmiştir. Standart k-epsilon modeli, ön tasarım ve ilk aerodinamik değerlendirme aşamalarında roket analizlerinde kullanılabilir. Ancak, daha karmaşık akış olayları (örneğin şok dalgaları, ayrılma bölgeleri, yüksek açılı hücum durumları) için daha gelişmiş modellerin kullanılması önerilmektedir. Bu yüzden, bu analizlerdeki C_D değerinin maksimum değeri vermesi, Standart k-ε modelinin sınır tabaka ayrılmaları gibi hassas bölgelerde daha kaba bir türbülans tahmini yapmasıyla ilişkilendirilmiştir.

- RNG k-ε modeli, C_D = 0,31440866 ile referansa göre *%6,01* daha düşük; Realizable k-ε modeli ise C_D = 0,32099122 ile *%4,05* daha düşük sonuç vermiştir. Her iki modelde de türbülans ayrışmasının ve geri akım bölgelerinin yetersiz temsili bu farklılıklara neden olmuştur.

Elde edilen bu sonuçlar, türbülans modeli seçiminin, özellikle sürüklenme tahminleri ve genel aerodinamik performans açısından kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Her akış problemi kendine özgü koşullara ve geometrik niteliklere sahip olduğundan, uygun türbülans modelinin seçimi, analiz doğruluğunu doğrudan etkilemektedir.

Akış görselleştirmeleri üzerinden yapılan değerlendirmelerde, roketin burun kısmında durma noktası nedeniyle yüksek basınç bölgeleri oluştuğu, arka kısmında ise belirgin bir devirdaim (recirculation) bölgesinin yer aldığı tespit edilmiştir. Bu durum, basınç sürüklenmesini artırarak toplam aerodinamik verimliliği düşürmektedir. Yapılan analizler sonucunda bu kapsamda yapılacak çalışmalar için elde edilen öneriler aşağıda verilen maddeler kapsamında özetlenebilir.

- Burun konisi geometrisi, durma noktasındaki yüksek basıncı azaltacak şekilde optimize edilmelidir.
- Kuyruk kısmında oluşan devirdaim bölgesini küçültmek amacıyla aerodinamik düzenleyiciler (örneğin boat-tail yapıları) uygulanabilir.
- Türbülans modeli seçiminde, çözüm hassasiyeti ve akış yapısına göre SST k-ω modeli gibi daha gelişmiş modeller tercih edilmelidir.
- Gelecekte yapılacak çalışmalarda geçici (transient) analizler, farklı hız rejimlerinde (örneğin transonik) karşılaştırmalar ve deneysel doğrulamalar ile model sonuçları desteklenebilir.
- Ayrıca ANSYS Fluent gibi sayısal akışkanlar dinamiği (CFD) yazılımlarında kullanılan türbülans modellerinin doğruluğu, özellikle sınır tabaka çözünürlüğü ile yakından ilişkilidir. Bu bağlamda, y^+ değeri, akışkan parçacıklarının duvar yüzeyine olan göreceli mesafesini temsil eden boyutsuz bir parametre olarak türbülans modellemesinde kritik öneme sahiptir. y^+ değeri, kullanılan türbülans modeline ve duvar fonksiyonu yaklaşımına bağlı olarak farklı aralıklarda tutulmalıdır. Örneğin, standart k-ε modeli genellikle duvar fonksiyonu ile birlikte kullanıldığından y^+ değerinin 30 ile 300 arasında olması önerilirken, k-ω SST modeli gibi düşük Reynolds sayılı modellerde y^+ değerinin 1'in altında olması gereklidir. y^+ değerinin uygun aralıkta olmaması, sınır tabaka içerisindeki türbülans kinetik enerjisi üretimi ve momentum transferi hesaplarında ciddi hatalara yol açarak analiz sonuçlarının güvenilirliğini düşürebilir. Bu nedenle, sayısal ağ yapısı oluşturulurken y^+ değerlerinin kontrol edilmesi ve türbülans modeliyle uyumlu olacak şekilde

optimize edilmesi, doğru ve fiziksel olarak anlamlı sonuçlar elde etmek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden gelecek çalışmalarda analizlerdeki y^+ değerleri de elde edilmelidir.

KAYNAKÇA

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/Sounding_rocket (Erişim tarihi:29.05.2025)
[2] Anderson, J.D., *Fundamentals of Aerodynamics*, McGraw-Hill Education, 2011.
[3] Bertin, J.J., Cummings, R.M., *Aerodynamics for Engineers*, Pearson Prentice Hall, 2009.
[4] White, F.M., *Akışkanlar Mekaniği*, McGraw-Hill Education, 2016.
[5] Aytaç, Z., Aktaş, F., Utilization of CFD for the aerodynamic analysis of a subsonic rocket, Politeknik Dergisi, 23(3), 879–887, 2020.
[6] Hammargren, K., *Aerodynamics Modeling of Sounding Rockets*, Ms. Thesis, Lulea University of Technology, 2018.
[7] Lopez, D., Dominguez, D. ve Gonzalo, J., Impact of Turbulence Modeling on External Supersonic Flow Field Simulations in Rocket Aerodynamics, International Journal of Computational Fluid Dynamics, 27(8–10), 332–341, 2016.
[8] Goucem, M., Khin, R., Optimizing Supersonic Rocket Efficiency: a Numerical Analysis of Aerodynamic Characteristics and Angle of Canard Deflection, International Review of Aerospace Engineering, 16(5), 2023.
[9] ANSYS, ‘‘Introduction to ANSYS Meshing, Mesh Quality & Advanced Topics’’, Module 5
[10] Çengel, Y.A., Cimbala, J.M., *Akışkanlar Mekaniği: Temelleri ve Uygulamaları*, İzmir: Güven Kitabevi, 2008.

FARKLI KESİTLERE SAHİP PRİZMA KANATÇIKLI ISI ALICILARDA TERMAL PERFORMANS

Semih Ümit ÖZKAN
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Meşelik-Eskişehir,
Semihumitozkan@gmail.com - https://orcid.org/0009-0000-0875-7153

Doç. Dr. Özge ALTUN
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Meşelik-Eskişehir,
okutlu@ogu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0003-0958-333X

Dr. Öğr. Üyesi Zerrin SERT
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Meşelik-Eskişehir,
zbocu@ogu.edu.tr - https://orcid.org/0000-0001-6934-5443

ÖZET

Isı alıcılar, özellikle elektronik bileşenlerin aşırı ısınmasını önlemek ve sistemlerin termal kararlılığını sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılan soğutma elemanlarıdır. Bu yapılar, yüzey alanını artırarak taşınım ısı transferini iyileştirir ve farklı geometrik tasarımlar sayesinde soğutma performansını optimize etme imkanı sunar. Bu çalışmada, farklı kesitlere sahip prizma kanatlı ısı alıcıların termohidrolik performansı üzerine etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Modeller SolidWorks çizim programı ile iki farklı kesite sahip üç farklı kanatçık konumu için tasarlanmış ve sayısal çalışmalar ANSYS Fluent yazılımı üzerinden 0.002625 kg/s ile 0.0045 kg/s aralığında dört farklı debi için yapılmıştır. Çalışmadaki analizler sonucunda sıcaklık dağılımları elde edilmiş ve ortalama Nusselt sayıları hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda kanatçık kullanımının ısı transferi üzerinde önemli etkileri olduğu, elips kesitli ve eş merkezli (E-S1) modelinin ısı transferi açısından en iyi değeri verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isı alıcı, ısıl performans, üçgen kanat, elips kanat.

THERMAL PERFORMANCE IN HEAT SİNKS WITH PRISM FIN OF DIFFERENT CROSS SECTIONS

ABSTRACT

Heat sinks are widely used cooling elements, especially to prevent overheating of electronic components and to ensure thermal stability of systems. These structures imrpove convection heat trnasfer by increasing the surface area and offer the opportunity to optimize cooling performance thanks to different geometric designs. In this study, the effects of prism fin heat sinks with different cross-sections shape on thermohydraulic performance were numerically investigated. Models were designed for three different fin positions with two different cross-sections with SolidWorks drawing program and numerical studies were performed for four different flow rates between 0.002625 kg/s and 0.0045 kg/s via ANSYS Fluent software. As a result of the analyses in the study, temperature distributions were obtained and mean Nuseelt numbers were calculated. As a result of the study, it was observed that te use of fins had significant effects on heat transfer and the ellipse cross-section and concentric (E-S1) model gave the best value in terms of heat transfer.

Keywords: Heat sink, thermal performance, triangular fin, elliptical fin.

1.GİRİŞ

Isı alıcıları analiz etmek, özellikle elektronik cihazlar, güç sistemleri ve termal yönetimin kritik olduğu uygulamalarda son derece önemlidir. Özellikle elektronik bileşenler ve cihazlar çalışırken ısı üretir. Bu ısının etkin bir şekilde uzaklaştırılmaması, performans düşüşüne, sistem arızalarına veya bileşen ömrünün kısalmasına yol açabilir. Bilindiği üzere, ısı alıcılar (heat sink), bir sistemde oluşan fazla ısının ortam havasına ya da başka bir akışkana verimli şekilde aktarılmasını sağlayan pasif bir soğutma elemanıdır. Isı alıcılar, yüzey alanını artırarak ısıyı çevreye daha hızlı iletir. Bu da cihazların daha düşük sıcaklıkta çalışmasını sağlar ve verimliliğini artırır. Bu yüzden ısı alıcıların hem deneysel hem de sayısal analizleri günümüzde araştırmacıların çalışma odağı haline gelmiştir.

Literatürde ısı alıcıların tasarım optimizasyonuna yönelik yapılmış çalışmalar yer almaktadır. Çalışmalarda farklı ısı alıcı geometrileri (kanatçık yapısı, malzeme türü, boyutlar vs.) incelenmiş ve performans artırıcı özellikler belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca ısı alıcılar için malzeme seçimi, termal performansı ve buna bağlı olarak elektronik bileşenlerden ısı dağılımının verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir (Liu vd., 2020). Önümüzdeki on yılda elektronik cihazlardaki güç dağılımının yüksek performanslı uygulamalar için çip başına 150-250 W'a çıkması beklendiğinden, verimli termal yönetim stratejileri giderek daha önemli hale gelmektedir (Desai vd., 2005). Farklı malzemelerin ısı alıcının optimum çalışma sıcaklıklarını koruma yeteneğini nasıl etkilediğinin ayrıntılı bir şekilde incelenmesini gerektirir. Geleneksel ısı alıcılar genellikle yüksek termal iletkenlikleri ve ısıyı kaynaktan hızla uzaklaştırma yetenekleri nedeniyle alüminyum ve

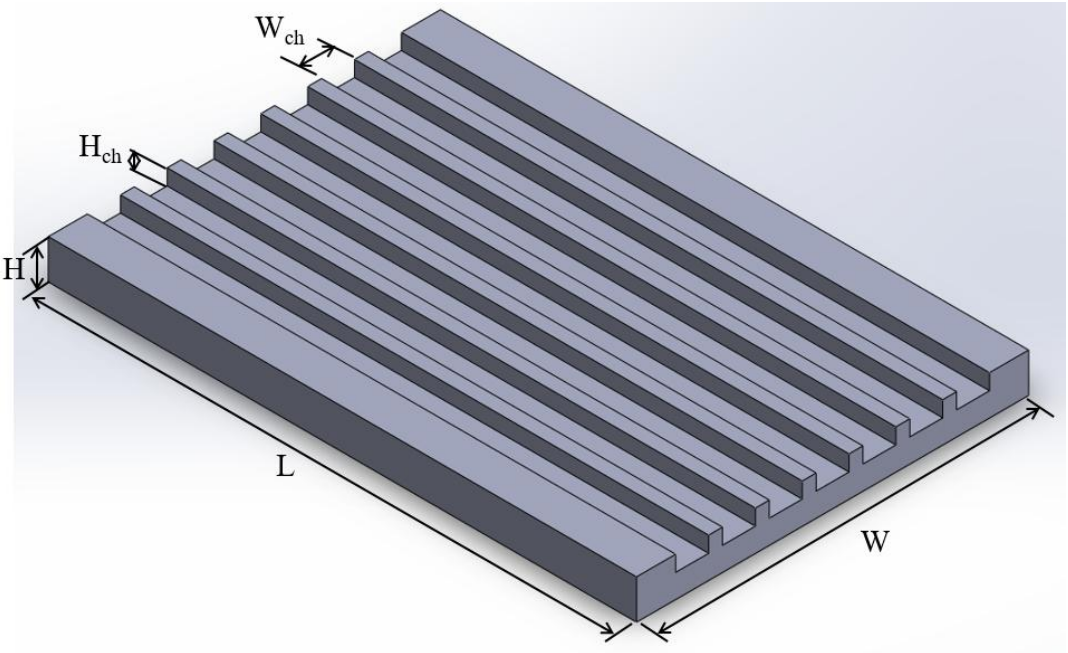
bakır gibi metallerden yapılır (Ansari, 2007). Ancak, bu malzemeler belirli ortamlarda korozyona karşı hassas olabilir ve zamanla kullanım ömürlerini ve etkinliklerini azaltabilir (Jamzad vd., 2018). Ayrıca, bu metallerin ağır olmaları nedeniyle genel sistemde ağırlık artışına neden olur. Genel sistemde ağırlık artışı ise taşınabilir veya alan kısıtlaması olan uygulamalarda endişe kaynağı olabilir. Kompozitler ve seramikler gibi alternatif malzemelerin kullanımı, ısı alıcı özelliklerini belirli uygulama gereksinimlerine göre uyarlamak için yeni olasılıklar sunar (Dong vd., 2008). Wang ve diğerleri (2019), farklı kütle oranlarında mikrometre bor nitrür/nanometre bor nitrür (mBN/nBN) arasındaki sinerjik etkiyi araştırmışlardır. Belirli bir oranda mBN/nBN'lik hibrit dolguların, bilyalı öğütme ve ardından sıcak sıkıştırma yöntemi ile üretilen kompozitlerin ısıl iletkenliklerinin en iyi sinerjik iyileştirmesini gerçekleştirdiğini bulmuşlardır. Malzeme seçiminin ısı alıcı performansı üzerindeki etkisi, yalnızca termal iletkenliğin ötesine uzanan çok yönlü bir konudur (Sopian vd., 2019).

Isı alıcılarda geometri ve malzeme seçimine ek olarak, kanatçık yapısı ısıl performansı etkileyen bir diğer önemli parametredir. Sharaf ve diğerleri (2022) çalışmalarında ısı alıcılardaki kanatçık konfigürasyonunun, ısıl performansı önemli ölçüde belirlediğini vurgulamışlardır. Genellikle ısı transfer ekipmanına tutturulmuş kanatçıklar olarak ortaya çıkan genişletilmiş yüzeyler, taşınım için mevcut yüzey alanını genişleterek ısıl transfer oranını artırmaya yarar (Yeh ve Chu, 2002). Bu iyileştirme, kanatçık boyunca ısı iletimi ve ardından kanatçık yüzeyinden olan taşınımdan kaynaklanır (Simonson, 1988). Kanatçık yapısının optimize etmek, çeşitli mühendislik uygulamalarında verimli termal yöntem elde etmek için çok önemlidir (Liu vd., 2020). Şekilleri, boyutları ve düzenlemeleri de dahil olmak üzere kanatçıkların geometrik özellikleri, ısı alıcının genel termal direnci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Marchildon ve Soliman, 2018). Dikdörtgen, trapez veya parabolik gibi değişken kanat profilleri, farklı sıcaklık dağılımları ve ısı transfer oranları sağlar ve belirli termal gereksinimlere dayalı dikkatli bir seçim gerektirir (Raman ve Fang, 2010). Çalışmalar, belirli trapez kanat tiplerinin avantajlı tasarım özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir (Türkyılmazoğlu, 2017). Ayrıca, kanatlar arasındaki boşluk, ısı alıcı içindeki akış özelliklerini ve ısı transfer katsayılarını önemli ölçüde etkiler (Kim ve Chang, 2020). Yakın aralıklı kanatlar, artan basınç düşüşüne ve azalan hava akışına yol açabilirken, geniş aralıklı kanatlar mevcut yüzey alanını etkili bir şekilde kullanamayabilir.

Özellikle günümüzde elektronik cihazlar daha küçük boyutlarda ve daha yüksek güç yoğunluklarında çalışmaktadır. Bu da gelişmiş ısı alıcı tasarımlarının incelenmesini ve yenilikçi çözümler bulunmasını zorunlu kılar. Bu çalışmada üçgen ve elips kanatçık konfigürasyonlarına sahip bir minikanallı ısı alıcının termohidrolik performansı sayısal olarak incelenmiştir. SolidWorks 2019 yazılımı kullanılarak üç farklı kanatçık yerleşimi için modeller oluşturulmuş, ardından sayısal analizler ANSYS Fluent yazılımı aracılığıyla, 0.002625 kg/s ile 0.0045 kg/s aralığında belirlenen dört farklı kütlesel debi değeri için gerçekleştirilmiştir.

2. MODEL TANIMI

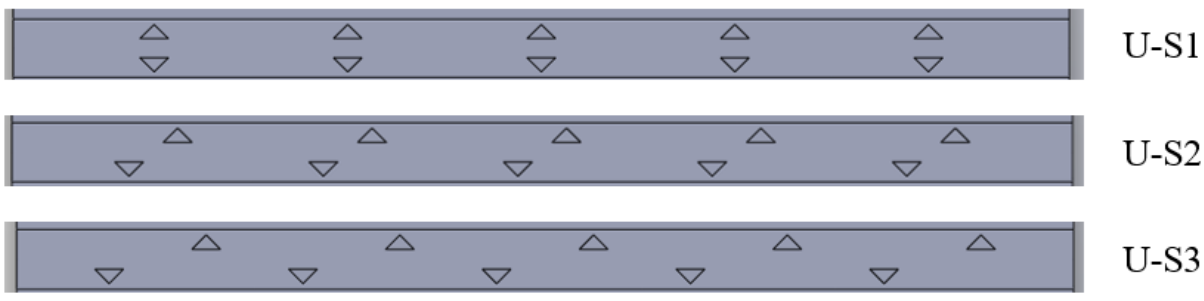
Görsel 1'de yedi mini kanal içeren Mini kanallı Isı Alıcının şematik gösterimi verilmiştir. Isı alıcının uzunluğu (L), genişliği (W) ve yüksekliği (H) sırasıyla 75 mm, 50 mm ve 5 mm'dir. Her bir ısı alıcıda 7 kanal bulunmakta, bu kanallarının genişliği (W_{ch}) 4.2 mm, yüksekliği (H_{ch}) 2 mm'dir. Kanallar arasındaki duvar kalınlığı 1.77 mm'dir. İlk ve son kanatçıkların merkezleri ile giriş çıkışları arasındaki mesafe 10 mm'dir. Silindirik kanatçıkların çapı 2mm ve kanatçıklar arası mesafe (s) 13.75 mm'dir. Ele alınan ısı alıcı boyutları Sarper vd. (2023) çalışmasından referans alınmıştır.



Görsel 1. Isı alıcının şematik gösterimi.

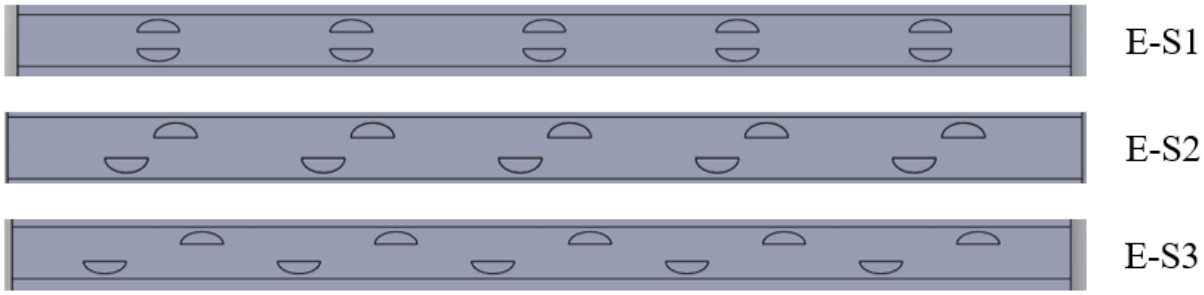
Analizler 3-boyutlu Kartezyen Koordinatlarda sabit termofiziksel özelliklere sahip sıkıştırılamaz akış için yönetici denklemler çözülerek elde edilmiştir. Bu denklemler Kosedere vd (2024) çalışmasındaki Denklem 1-5 aralığından alınmıştır.

Analizleri yapılan üçgen kanatçıklı geometriler ve adlandırmaları Görsel 2'de verilmiştir. Çalışmada üçgen ve elips kanatçıklı ısı alıcılar için analizler yapılmıştır. İkiz kenar üçgen kesitli kanatçıkların kenar uzunluğu 1.41 mm iken, üçgenin taban uzunluğu 2 mm'dir.



Görsel 2. Analizleri yapılan üçgen kanatlı ısı alıcılar.

Elipslerin ise y eksenindeki kısa çapı 2 mm ve x eksenindeki uzun çapı 3 mm'dir. Kanatçıkları arasındaki mesafeler Sarper ve diğerlerinin (2023) silindirik kanatçıklar üzerindeki çalışmaları ile aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Kanatçıklar üç farklı yere konumlandırılmıştır. Eş merkezli, kanatçıkların merkezleri arasındaki mesafe sırasıyla 3.44 mm ve 6.88 mm olacak şekildedir.



Görsel 3. Analizleri yapılan elips kanatlı ısı alıcılar.

3. SAYISAL YÖNTEM

Bu çalışmada, akışkanlar dinamiği problemlerinin sayısal olarak çözülmesi amacıyla ANSYS Fluent ticari programı kullanılmıştır. ANSYS Fluent, karmaşık akışkan akışı, ısı transferi ve ilgili fiziksel olayların modellenmesi için yaygın olarak tercih edilen, güçlü ve güvenilir bir CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği) yazılımıdır. Simülasyon sürecinde, geometri oluşturma ve ağ yapısı (mesh) oluşturma işlemleri ANSYS Workbench ortamında gerçekleştirilmiş, ardından çözümleme Fluent arayüzünde yapılmıştır. Bu sayede, fiziksel problem detaylı bir şekilde incelenmmiş ve güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Sarper vd. (2023) çalışmalarında, minikanallı ısı alıcı sistemlerinde termo-hidrolik performans analizleri için yapılandırılmış ve özellikle kanatçık çevresinde hassaslandırılmış (refined) bölgelerle birlikte toplamda yaklaşık 1.8 milyon elemandan oluşan bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Al-Hasani (2022) ise serpantin yapıdaki çift çıkışlı minikanallarda pim kanatçıkların ve ikincik akış açıların etkisini değerlendirdiği çalışmasında, detaylı geometrik bölgelere uyumlu şekilde yerleştirilmiş inceleştirilmiş ağ yapısıyla yaklaşık 2 milyon hücrelik bir sayısal modelleme gerçekleştirmiştir. Bu referans çalışmalar dikkate alınarak, mevcut çalışmada da benzer çözünürlükte ve doğrulukta sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla yüksek eleman yoğunluğuna sahip, hassaslaştırılmış bölgelere odaklanan ve toplamda yaklaşık 3.9 milyon adet ağ elemanından oluşan bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Böylece, hem hesaplama maliyetleri optimum düzeyde tutulmuş hem de sayısal çözümün kararlılığı ve güvenilirliği sağlanmıştır.

CFD (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğ) analizlerinde sınır koşulları, simülasyonun doğruluğu ve güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu koşullar, akışkanın giriş, çıkış, duvar gibi bölgelerde nasıl davranacağını tanımlar ve fiziksel sistemi temsil eden matematiksel modelin gerçek dünyaya uygunluğunu sağlar. Yanlış tanımlanan sınır koşulları, sonuçların gerçeği

yansıtmasını engelleyebilir ve tasarım ya da mühendislik kararlarını olumsuz etkileyebilir. Bu çalışmada kullanılan sınır şartları:

- Mini kanal girişlerinde debi girişi (mass-flow inlet) sınır şartı uygulanmış ve suyun sıcaklığı ve termofiziksel özellikleri 298 K olarak alınmıştır.
- Mini kanal çıkışlarında basınç çıkış sınır şartı uygulanmakta ve atmosfer basıncı olarak alınmaktadır.
- Isı alıcının tabanı 20000 W/m'lik sabit ısı akısı ile ısıtılmaktadır.
- Mini kanallar ve su ile temas halindeki kanatçık yüzeylerinde eşlik (coupled) sınır şartı ve kaymasız (no-slip) hidrodinamik sınır şartı uygulanmıştır. Isı alıcının üst ve yan yüzeyleri tamamen yalıtılmıştır (adiabatic).

Bilindiği üzere analizlerde, ortalama Nusselt sayısı, bir yüzeydeki ısı transferi performansını değerlendirmek için hesaplanan bir boyutsuz sayıdır. Ortalama Nu sayısı ısı iletimine göre ısı taşınımının ne kadar etkili olduğunu gösterir ve yüzeyden akışkana olan ısı geçişini nicel olarak analiz etmek için kullanılır. Özellikle ortalama Nusselt sayısı sayesinde, ısı transferi tasarımı optimize edilebilir ve sistem verimliliği artırılabilir. Analizlerdeki ortalama Nusselt sayısı aşağıdakki denklemler yardımı ile hesaplanmaktadır. Öncelikle hidrolik çapın hesaplanması gereklidir.

$$Dh = \frac{2 \times W_{ch} \times H_{ch}}{W_{ch} + H_{ch}} \tag{1}$$

Burada W_{ch} mini kanalın genişliği ve H_{ch} mini kanalın uzunluğudur. Ortalama ısı taşınım katsayısı ise, aşağıdaki denklemden hesaplanır (Imran ve ark., 2018).

$$h = \frac{\dot{m} c_p \Delta T_f}{A_{eff} \left(T_{base,ave} - T_{f,m} \right)} \tag{2}$$

ṁ suyun kütlesel debisi, cp suyun özgül ısısı, ΔTf suyun sıcaklık artışı, Aeff efektif yüzey alanı, Tbase,ave taban yüzeyinin ortalama sıcaklığı veTf,m film sıcaklığıdır. Film sıcaklığı suyun minikanal giriş ve çıkış sıcaklıklarının toplamının yarısıdır.

$$Nu = \frac{h\, Dh}{k_f} \tag{3}$$

kf suyun ısı iletim katsayısıdır.

4.BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Çalışmada parçalı küp ve elips prizma kanatçıklı mini kanallardadört farklı debi ve farklı kanatçık yerleşimi için analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen sıcaklık ve hız dağılımları

verilmiştir. Bu sıcaklık ve hız dağılımları, suyun farklı kanatçık konfigürasyonunda akışı detaylı bir şekilde anlamak ve ısı transferi ile akış karakteristiklerini analiz etmek için elde edilmiştir.

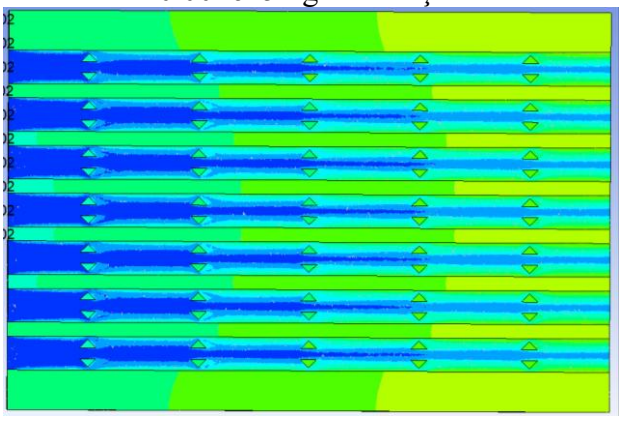
Görsel 4'de solda, debisi 0.002625 kg/s olan akış için; sağda ise debisi 0.0045 kg/s olan akış için elde edilen sıcaklık dağılımları gösterilmiştir. Her bir sütun, kendi içindeki renk skalasına (legenda) göre değerlendirilmelidir. Sıcaklık dağılımı değişim skalası her sütunun altında verilmiştir. Minimum debide maksimum sıcaklık 320 K iken, maksimum debide maksimum sıcaklık 316 K olmuştur. Sıcaklık dağılımlarının elde edilmesindeki hedef sistemin termal verimliliği değerlendirmektir. Verilen sıcaklık dağılımlarında ısı transferi bölgeleri (yüksek ve düşük sıcaklık farkları) belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir.

Üçgenlerin S1 konumunda yani eş merkezli olmasında sıcaklık dağılımının düzgün bir şekilde ilerlediği gözlenirken, S2 ve S3 konumunda üçgenler arasındaki akışın salınım yaptığı gözlemlenmektedir.

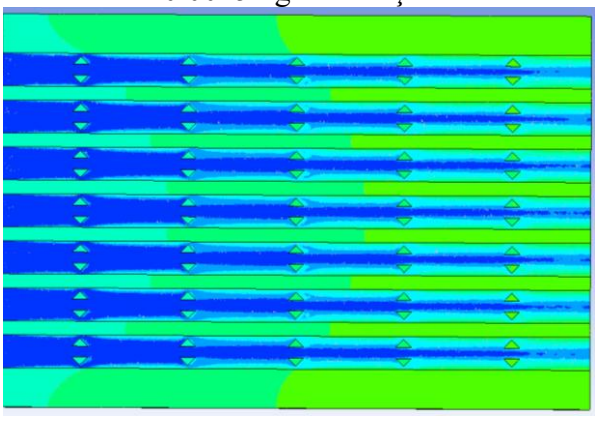
Debinin artmasıyla birlikte sistem içerisindeki sıcaklık dağılımının daha homojen hale geldiği ve soğuk akışkanın ısı alıcının ortalarına kadar ilerlediği görülmüştür. Bu durum, artan debinin ısı transferini artırarak yüzeylerdeki sıcaklık farklarını azaltmasıyla açıklanabilir. Ayrıca, yüksek debide sıcaklık gradyenlerinin daha belirgin hale gelmesi, ısıl sınır tabakanın daha ince yapıda olduğunu ve daha etkili bir taşınım mekanizmasının oluştuğunu göstermektedir.

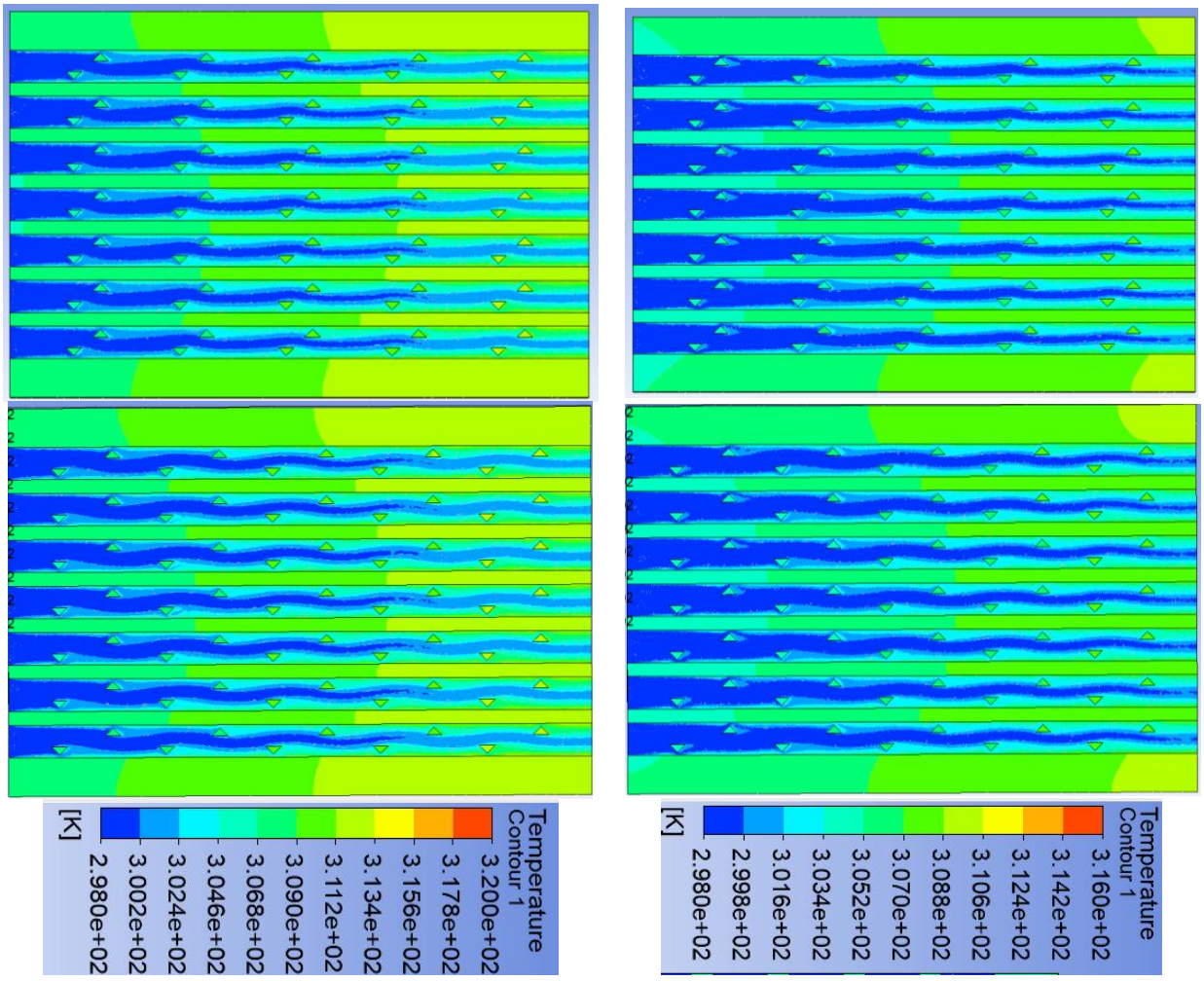
Sarper vd. (2023), minikanallı ısı alıcı sistemlerinde farklı silindirik kanatçık konfigürasyonlarının termo-hidrolik performansı üzerindeki etkilerini inceleyerek, akış ve sıcaklık dağılımının optimize edilmesiyle performans artışı sağlanabileceğini göstermiştir. Benzer şekilde, Al-Hasani (2022)'de serpantin yapıdaki minikanallarda ikincil akış açısının ve pim kanatçıkların, ısı transferi ve akış karakteristikleri üzerinde önemli etkileri olduğunu rapor etmiştir. Bu bağlamda, mevcut çalışmadakai sıcaklık dağılımı gözlemleri, literatürdeki bulgularla uyumlu olup debi artışının sistemin ısıl verimliliğini olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır.

0.002625 kg/s debi için



0.0045 kg/s debi için

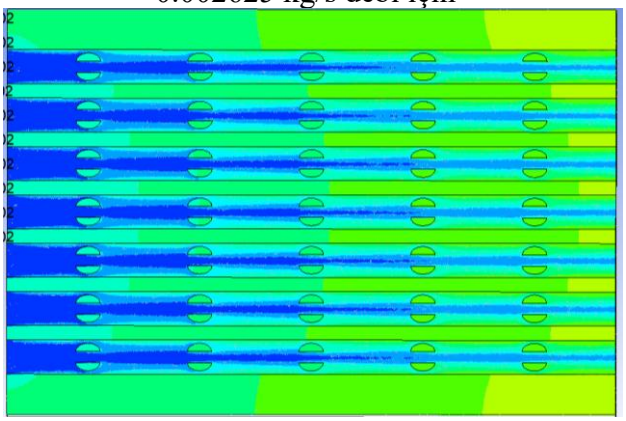




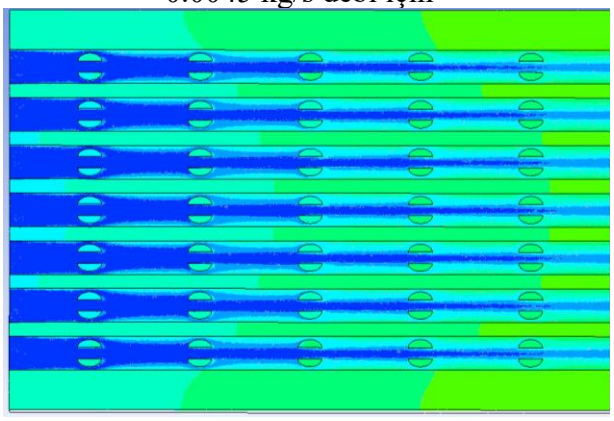
Görsel 4. Üçgen kanatlı ısı alıcılarda iki farklı debi için elde edilen sıcaklık dağılımları.

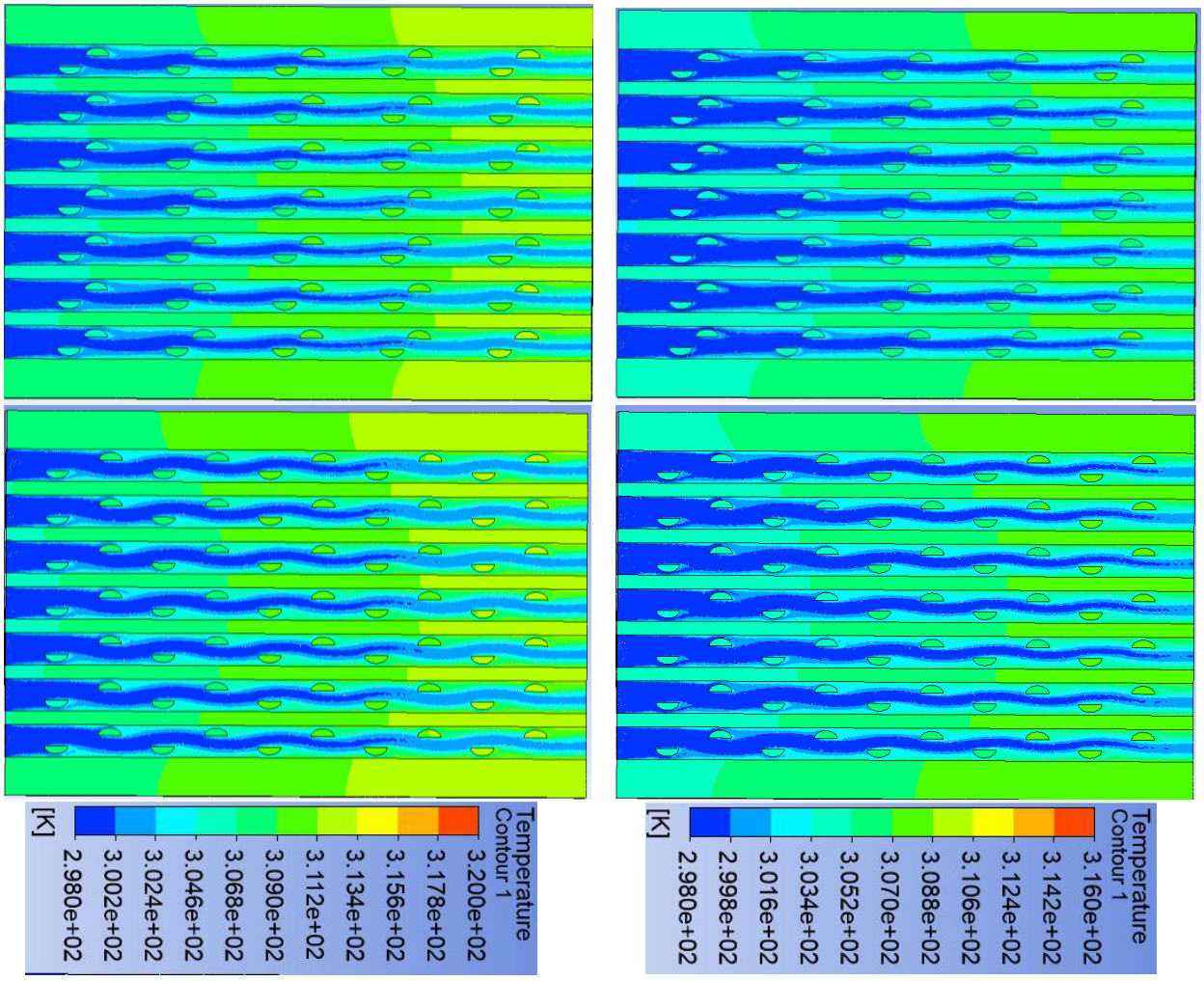
Görsel 5'te de elips kanatlı ısı alıcılardaki en az debi (0.002625 kg/s) ve en fazla debi (0.0045 kg/s) için elde edilen sıcaklık dağılımarı verilmiştir. Eş merkezli durumda (S1) oluşan ısıl sınır tabaka daha düzgün gözlemlenmektedir.

0.002625 kg/s debi için



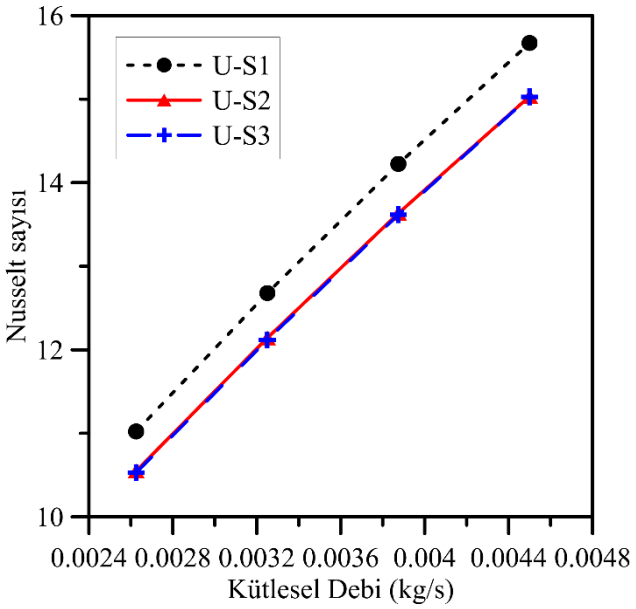
0.0045 kg/s debi için





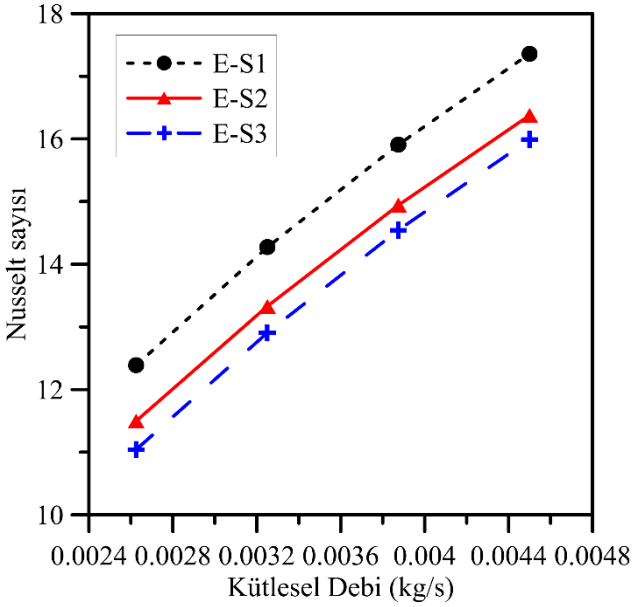
Görsel 5. Elips kanatlı ısı alıcılarda iki farklı debi için elde edilen sıcaklık dağılımları.

Ayrıca analizi yapılan her bir durum için ortalama Nu sayıları da elde edilmiştir. Tasarım değişkenlerine göre elde edilen ortalama Nu sayıları ile karşılaştırmalı performans değerlendirmesi yapılmıştır. Üçgen kesitli ısı alıcının ortalama Nu sayısı Görsel 6'da verilmiştir. U-S1 modeli ısı transferi bakımından en iyi performansı sergilemiştir. Tüm debi değerlerinde U-S2 ve U-S3 modellerinin ortalama Nusselt sayısı birbirine oldukça yakın bulunmuştur.



Görsel 6. Üçgen kesitli ısı alıcıların kanatçık dizilimi ve debiye göre ortalama Nu sayısındaki değişim.

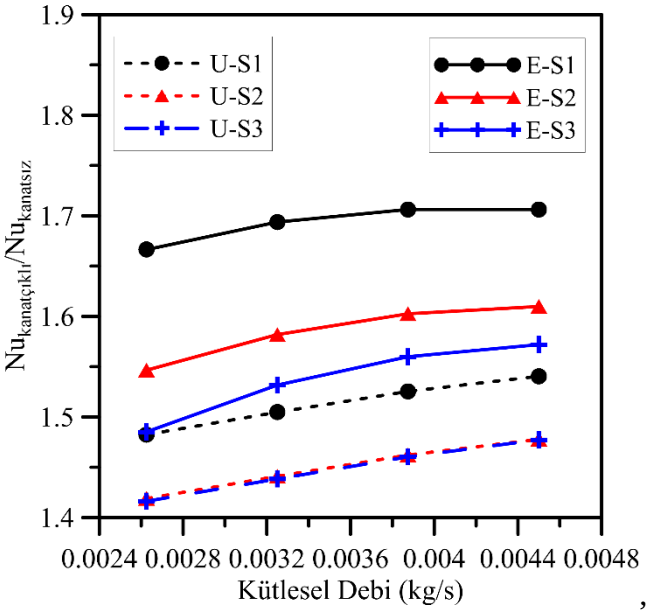
Elips prizma kanatçıklı ısı alıcılar için hesaplanan ortalama Nusselt sayıları Görsel 7'de verilmiştir. E-S1 modeli ısı transferi bakımından en iyi performansı sergilemiştir ve ortalama Nusselt sayısı diğer elips kanatlı ısı alıcı modellerden daha yüksek bulunmuştur. Üçgen kanatçıklı ısı alıcılardan farklı olarak E-S2'nin ortalama Nusselt sayısı E-S3 modelinden daha yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.



Görsel 7. Elips kesitli ısı alıcıların kanatçık dizilimi ve debiye göre ortalama Nu sayısındaki değişim.

Görsel 8'de, x ekseni boyunca dört farklı debi değeri temsil edilmekte olup, bu değerler artan akış hızlarına karşılık gelmektedir. Y ekseni ise, ısı transfer performansının değerlendirilmesi amacıyla

kanatçıklı durumdaki ortalama Nusselt (Nu) sayısının, kanatsız durumdaki ortalama Nu sayısına oranını göstermektedir. Bu oran, kanat eklenmesinin ısı transferi üzerindeki relatif etkisini değerlendirmek amacıyla elde edilmiştir. Sonuç olarak her bir debi oranında kanatların farklı akış rejimlerinde ısı transferini artırmıştır. Eliptik kanat kullanımı üçgen kanat kullanılan ısı alıcılara göre daha avantaj sağlamıştır.



Görsel 8. Kanatsız ısı alıcı ile kanat kullanılan ısı alıcılarda ortalama Nusselt sayısının kıyaslanması.

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı kanatçık tiplerine (parçalı küp ve elips kesitli prizma) ve farklı kanatçık dizilimlerine sahip mini kanallı ısı alıcılar, dört farklı kütlesel debi değeri altında sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, hem kanatçık geometrisinin hem de dizilim konfigürasyonunun ısı transferi performansı ve akış davranışı üzerinde belirleyici etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Elips kanatçık konfigürasyonu daha homojen sıcaklık dağılımı sağlamıştır.
- Isı alıcılarda kanat kullanımı ısı transferi performansını artırmıştır. Kanatçıklı ısı alıcıların kanatsız durumdaki ısı alıcıya göre ortalama Nu sayısı kıyaslamasına göre de her bir durumda değerin 1'den büyük çıktığı gözlemlenmiştir. Bu da kanat kullanımının taşınım ile ısı geçişini artırdığını ispatlar niteliktedir.
- Elips kanatlı ısı alıcının ortalama Nu sayıları üçgen kanatlı ısı alıcılara göre daha yüksek çıkmıştır. En yüksek ortalama Nusselt sayısı E-S1 konumlu usu alıcı için elde edilmiştir.

- Üçgen kanatçıklı ısı alıcılar, bazı durumlarda daha yüksek türbülans seviyesi oluşturarak ısı transferini artırmış ancak buna karşılık daha fazla basınç kaybına yol açmıştır. Bu yüzden çalışma basınç düşümü göz önüne alınarak geliştirilebilir.

Sonuç olarak, ısı alıcıdaki sıcaklık dağılımı ve akış yapısının analizi, daha verimli soğutma sağlayacak geometrilerin ve çalışma koşullarının belirlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. İlgi odağı olan bu konu hem deneysel hem de sayısal analizler yapılarak optimum geometri belirlenmesi için geometri parametreleri çeşitlendirilmelidir. Ayrıca yalın zorlanmış taşınımın yanı sıra ısı alıcılarda hem doğal taşınım hem de ışınım ısı transferinin aktif olduğu sayısal analizler yapılarak analiz değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Ansari, A. I. (2007). A Study on Polymer Pin Fin Based Heat Sinks. 637. https://doi.org/10.1115/ipack2007-33968

Desai, A., Mahajan, S. S., Subbarayan, G., Jones, W. E., Geer, J., Sammakia, B. (2005). A Numerical Study of Transport in a Thermal Interface Material Enhanced With Carbon Nanotubes. Journal of Electronic Packaging, 128(1), 92. https://doi.org/10.1115/1.2161231

Dong, Z., Meng, M., Liang, Z., Peng, X. (2008). Effects of cooler materials on cooling performance of ATCA mainboards. Heat Transfer-Asian Research, 38(1), 51. https://doi.org/10.1002/htj.20230

Jamzad, P., Kenna, J., Bahrami, M. (2018). Development of novel plate heat exchanger using natural graphite sheet. International Journal of Heat and Mass Transfer, 131, 1205. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.11.129

Wang, Y., Wu, W., Drummer, D., Shen, W., Liu, C., Ning, W. (2019). Synergistic construction of thermally conductive network in polybenzoxazine with boron nitride hybrid fillers. Materials Research Express, 6(12), 125369. https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab6e7d

Liu, Z., Quan, Z., Zhao, Y., Jing, H., Liu, X., Wang, L. (2020). Experimental research on the performance of ice thermal energy storage device based on micro heat pipe arrays. Applied Thermal Engineering, 185, 116452. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116452

Sopian, K., Al-Waeli, A. H. A, Kazem, H. A. (2019). Novel Designs of Photovoltaic Thermal (PV/T) Systems. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE), 8(4), 6223. https://doi.org/10.35940/ijrte.d5144.118419

Kim, B.-C., Chang, K. (2020). Assessment of Hybrid RANS/LES Models in Heat and Fluid Flows around Staggered Pin-Fin Arrays. Energies, 13(14), 3752. https://doi.org/10.3390/en13143752

Marchildon, A. L., Soliman, H. M. (2018). Optimum Dimensions of Longitudinal Rectangular Fins and Cylindrical Pin Fins with a Prescribed Tip Temperature. Heat Transfer Engineering, 40(11), 914. https://doi.org/10.1080/01457632.2018.1446872

Raman, A. A. A., Fang, T. (2010). Alternative solutions for longitudinal fins of rectangular, trapezoidal, and concave parabolic profiles. Energy Conversion and Management, 51(11), 2188. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.03.012

Sharaf, M., Yousef, M. S., Huzayyin, A. S. (2022). Review of cooling techniques used to enhance the efficiency of photovoltaic power systems [Review of Review of cooling techniques used to enhance the efficiency of photovoltaic power systems]. Environmental Science and Pollution Research, 29(18), 26131. Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/s11356-022-18719-9

Simonson, J. R. (1988). Extended surfaces (p. 157). https://doi.org/10.1007/978-1-349-19351-6_11

Türkyılmazoğlu, M. (2017). Efficiency of the Longitudinal Fins of Trapezoidal Profile in Motion. Journal of Heat Transfer, 139(9). https://doi.org/10.1115/1.4036328

Yeh, L. T., Chu, R. C. (2002). Thermal Management of Microelectronic Equipment. In ASME Press eBooks. https://doi.org/10.1115/1.801683.

Kosedere, O., SERT, Z., Altun, Ö. (2024). Investigation of thermal performance at forced convection in plate-fin heat sink. Energy, 307, 132621. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.132621

Sarper, B., Türk, D. N., Dağıdır, K., Aydın, O. (2023). EFFECTS OF COMPLETE AND PARTIALCYLINDRICAL FIN CONFIGURATIONS ON THERMOHYDRAULIC PERFORMANCE OF A MINICHANNEL HEAT SINK. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(Özel Sayı), 1156-1170. https://doi.org/10.17780/ksujes.1340343

Al-Hasani, M. A. (2022). Influence of secondary flow angle and pin fin on hydro-thermal evaluation of double outlet serpentine mini-channel heat sink. Case Studies in Thermal Engineering, 37, 102281. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100670

MAKİNELERDE OTTO VE ATKINSON ÇEVRİMLERİNİN İNCELENMESİ

Buse KÖROĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi,
buse.koroglu@std.yildiz.edu.tr - 0009-0002-4333-6949

ÖZET

Günümüzde artan taşıt sayısı, azalan fosil yakıtlar ve ülkelerin uyguladığı ağır emisyon standartları nedeniyle alternatif enerji kaynakları ve motor verimliliği önemli hale gelmiştir. İçten yanmalı motorlarda hem yakıt tüketimini azaltmak hem de emisyonları düşürmek amacıyla değişken supap zamanlaması, alternatif yakıt kullanımı ve farklı yanma sistemleri gibi çalışmalar yapılmaktadır. Otto çevrimli motorlar özellikle düşük devirlerde yüksek pompalama kayıpları ve düşük ısıl verimleri nedeniyle dezavantajlıdır. Bu sorunları azaltmak için Atkinson ve Miller çevrimleri tercih edilmektedir. Atkinson çevrimi, daha düşük mekanik stres, daha sessiz çalışma, düşük maliyet ve yüksek verimlilik sunarken; düşük güç üretimi ve karmaşık supap zamanlaması gibi dezavantajlara sahiptir. Atkinson çevrimli motorlar gibi karmaşık çevrimlerde valf zamanlaması ve sıkıştırma oranı gibi faktörlerin hassas kontrolü gereklidir. Bu sebeple motor kalibrasyonu daha kritik hale gelir. Motorlarda gelişmiş kontrol stratejileri ve simülasyon destekli optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu sayede verimli, çevreci ve güvenilir bir motor performansı sağlamak için detaylı mühendislik çalışması yapılabilmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalar Atkinson çevrimli motorların özellikle kısmi yükte ve düşük devirlerde daha verimli çalıştığını göstermektedir. Bu çalışmalarla emme valfi zamanlamaları ve sıkıştırma oranları değiştirilerek yakıt ekonomisinde %6 ile %14 arasında iyileşme sağlanmıştır. Özellikle hibrit elektrikli araçlarda tercih edilen bu çevrimle, motor performansı ve ısıl verim artmakta, yakıt tüketimi azalmaktadır. Sonuç olarak, Atkinson çevrimi, gelecekte sürdürülebilir otomotiv teknolojilerinin temelini oluşturabilecek potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Enerji Verimliliği, İçten Yanmalı Motorlar, Atkinson Çevrimi

1. GİRİŞ

Günden güne artan taşıt sayısı, petrol türevlerinin her geçen gün azalması, ülkelerin uyguladığı ağır emisyon standartları nedeniyle alternatif enerji kaynakları ve bu enerjinin verimli bir şekilde kullanılması önemli bir unsur haline gelmiştir [1]. Bunun yanı sıra içten yanmalı motorlarda zararlı egzoz emisyonlarının ve tüketilen yakıt miktarının azaltılması ve motor performansının arttırılması oldukça önemlidir. Bu nedenle otomobil üreticileri ve bilim insanları içten yanmalı motorların ürettiği emisyon değerlerinin ağır emisyon standartlarına uygun olması, yakıt tüketiminin azaltılması ve performansının arttırılması için değişken supap zamanlaması, alternatif yakıt kullanımı, alternatif yanma sistemleri ve elektronik kontrol sistemleri gibi birçok çalışma yapmaktadırlar. Otto çevrimli içten yanmalı motorlar özellikle kısmi yüklerde çalıştırıldıkları zaman pompalama kayıplarının fazla ve ısıl verimlerinin düşük olması nedeniyle motor performansını kötüleştirmektedir. Isıl verimin arttırılması ve pompalama kayıplarının azaltılması için supap zamanlamalarını, supap kalkma miktarlarını ve sıkıştırma oranlarını değiştirilmesine olanak sağlayan Atkinson ve Miller çevrimi kullanılmaktadır [2,3]. Hibrit elektrikli araçlar (HEVler), ticari açıdan en umut verici yeni enerji araçları olarak kabul edilmektedir. Çoğu HEV, ana tahrik gücü olarak Atkinson çevrim motorunu benimsemiştir.

2. OTTO-ATKINSON ÇEVRİMLERİNİN İNCELENMESİ

2.1. Otto Çevrimi (Teorik)

Emme supapı açılır ve piston Ü.Ö.N. (Üst Ölü Nokta)'dan A.Ö.N. (Alt Ölü Nokta)'ya doğru hareket eder.

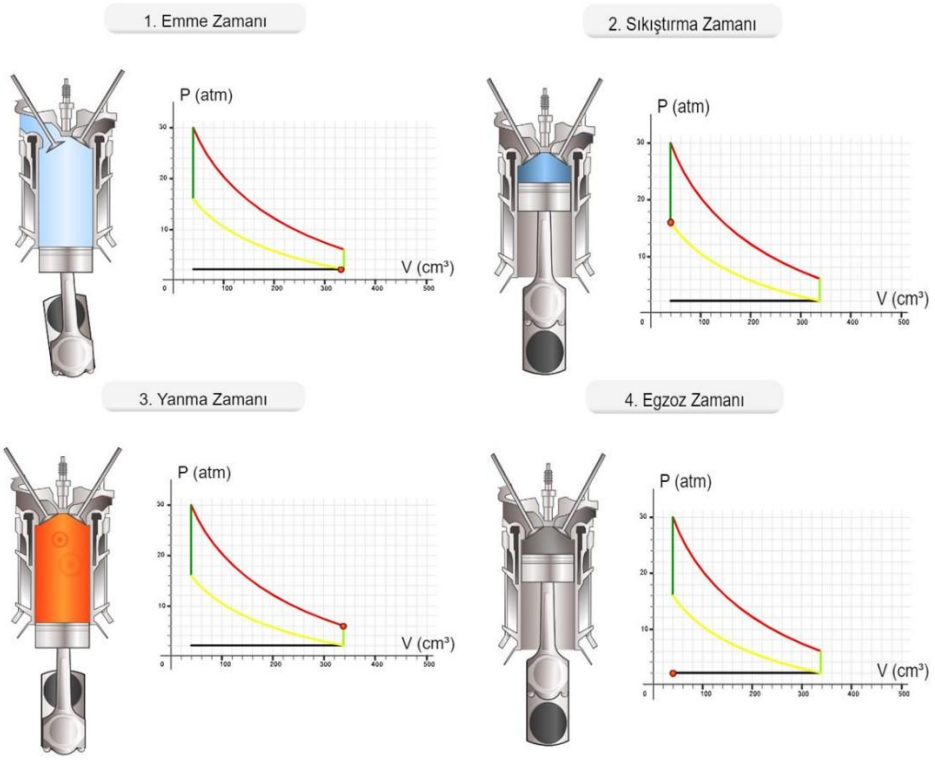
Silindir içinde, pistonun A.Ö.N.'ya doğru hareket etmesi ile boşalttığı hacimle orantılı olarak basınç, atmosferik basınç altına düşer. Piston A.Ö.N.'ya geldiği anda emme supapı kapanır.

Emme supapının kapanması ile birlikte piston A.Ö.N.'dan Ü.Ö.N.'ya doğru harekete başladığı anda sıkıştırma başlar ve devam eder. Bu anda piston Ü.Ö.N.'da bulunur.

Sıkıştırılmış olan havanın basıncı yükselmiştir. Bu anda karışım, buji tırnakları arasında ark yapması sonucu oluşan kıvılcım ile yanmaya başlar. Yanma sabit hacim altında olur. Yanan karışımın basıncı artar.

Artan bu basınç ile piston Ü.Ö.N.'dan A.Ö.N.'ya itilir. Piston silindir hacmi genişlediği için basınç azalır ve en düşük değere ulaşır. Bu anda piston A.Ö.N.'da iken, egzoz supapı açılarak yanmış gazların basıncı atmosferik basınca kadar düşer.

Piston Ü.Ö.N.'ya kadar egzoz gazlarını silindirden dışarıya atar.

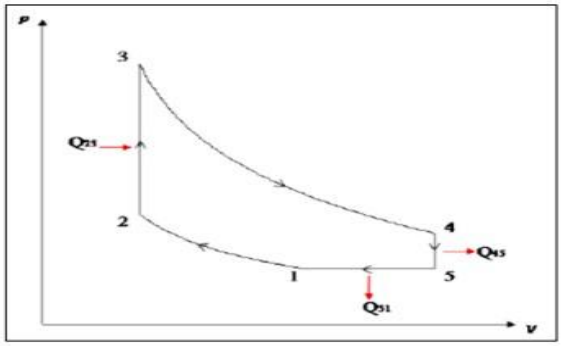


Görsel 1. Otto Çevriminin P-V Diyagramı, 2025

Böylece piston Ü.Ö.N.'ya geldiğinde dört zamanlı çevrim biter ve yeni bir çevrim başlar. Otto çevriminin teorik gösterimi ve termodinamik analizi Görsel 1'de verilmiştir [4].

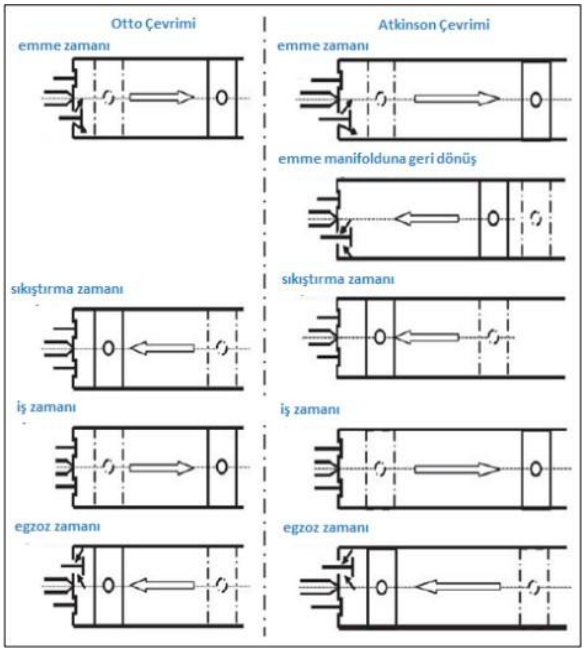
2.2. Atkinson Çevrimi

James Atkinson tarafından ortak özellikleri, sıkıştırma kursunun genişleme kursundan daha küçük ve farklı olduğu üç alternatif motor çevrimi, 1882 yılında İngiltere'de tasarlanmış ve patentlenmiştir [5]. Elde edilen net iş miktarının arttırılması ile aynı motordan elde edilen verim değerinin maksimize edilmesi hedeflenmiştir. Atkinson çevrimi P-V (Basınç-Hacim) diyagramı Görsel 2'de verilmiştir [6].



Görsel 2. Atkinson Çevrimi P-V Diyagramı, 2013

Kam tabanlı değişken valf zamanlamaları (VVT) ve değişken sıkıştırma oranı (VCR) gibi yaygın olarak kullanılan tekniklerin çoğu, farklı türde karmaşık mekanizmalar tarafından gerçekleştirilir ve motorun değişen çalışma koşullarına göre iyileştirilmiş valf zamanlamaları ve farklı motor döngüleri elde etmek için genişletilmiş ancak yine de nispeten sınırlı bir ayarlanabilirlik sağlamaktadır [7].



Görsel 3. Atkinson Çevriminin Otto Çevriminden Farkı, 2003

Görsel 3'de, Atkinson ve Otto çevrimleri arasındaki temel termodinamik farkları özetlenmektedir [8]. Özellikle genleşme ve sıkıştırma oranları bakımından ortaya çıkan farklılıklar, motor verimliliği ve güç üretimi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Atkinson çevrimi, düşük tork üretimi pahasına daha yüksek termal verim sunarken; Otto çevrimi, daha dengeli bir güç-verimlilik oranı sağlayarak geleneksel içten yanmalı motorlarda tercih edilmektedir. Günümüzde özellikle motor teknolojilerinde Atkinson çevriminden yararlanılması, yakıt ekonomisi ve emisyon azaltımı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

2.3. Atkinson Döngüsünün Avantaj ve Dezavantajları

Atkinson döngüsünün avantaj ve dezavantajları Çizelge 1'de verilmiştir [9].

Çizelge 1. Atkinson Döngüsünün Avantaj ve Dezavantajları

Avantaj	Dezavantaj
Güvenilirlik sorunlarını azaltabilecek ve bileşen ömrünü uzatabilecek daha az mekanik stres gerektirirler.	Hava-yakıt karışımını daha az sıkıştırdıkları için daha az güce sahiptirler. Yani kıvılcım sıçrama anında piston kafasına gelen itme kuvveti konvansiyonel motorlara göre daha düşüktür.
Yakıt tüketimi azalır.	Zamanlama ayarları göz önüne alındığında, 5000 RPM (Revolutions Per Minute)'de işaretlenmiş daha düşük bir maksimum devir limitine sahiptirler.
Üretim maliyetleri de geleneksel benzinli motorlara benzer şekilde düşüktür ve dizel motor üretmekten daha ucuzdur.	Valfleri ve eksantrik mili açısından daha karmaşık bir teknolojiye ihtiyacı var.
Hala benzinli motorlar oldukları için dizele göre daha sessiz, daha hafif ve daha düşük emisyonludurlar.	Motorun toplam yer değiştirmesinden elde edilen özgül güç oldukça düşüktür.
Verimlilik daha yüksektir. Toyota'ya göre, Otto çevriminde çalışan aynı özelliklere sahip bir motorda %12 ila 14 arasında verim elde edilmiştir.	

Sonuç olarak, Atkinson çevrimli motorlar, düşük mekanik stres, artırılmış termal verimlilik ve yakıt ekonomisi gibi avantajlarıyla özellikle çevresel sürdürülebilirlik açısından öne çıkmaktadır. Ancak düşük sıkıştırma oranı nedeniyle sınırlı güç üretimi, karmaşık valf zamanlaması ve düşük spesifik güç değerleri, bu motorları yüksek performans beklentisinin olduğu uygulamalarda dezavantajlı kılmaktadır. Bu nedenle Atkinson çevrimi, özellikle hibrit sistemlerde elektrik motoruyla desteklenerek hem verimlilik avantajı korunmakta hem de performans eksiklikleri dengelenmektedir. Bu yaklaşım, modern otomotiv mühendisliğinde verimlilik ve çevre dostu tasarım hedeflerinin bir bileşkesi olarak değerlendirilmektedir.

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Can Çınar ve arkadaşlarının 2021 senesinde yaptığı çalışmada, bir Otto çevrimli motor, emme valfinin geç kapatılması ve sıkıştırma oranının arttırılması yöntemi kullanılarak Atkinson çevrimi motoruna dönüştürülmüştür. İlk olarak termodinamik analiz yapılmıştır. Silindir içi basınç değişimleri, tork, güç, ısıl verim ve frene özgü yakıt tüketiminin hız ile değişimi elde edilmiştir. Deneysel çalışma için dairesel yay eğrisi kullanılarak yeni bir eksantrik mili tasarlanmış ve üretilmiştir. Atkinson motorunun IVC (Intake Valve Closing) zamanlaması, standart zamanlamaya göre 20° krank mili açısı kadar geciktirilmiştir. Sıkıştırma oranı 8,5'tan 9,5'e çıkarılmıştır. Testler 1400–3400 rpm hız aralığında gerçekleştirilmiştir. Standart motor için Otto çevrimi, 20 ° CA (Crank Angle)'da emme valfinin 8,5 sıkıştırma oranında geç kapanması ve emme valfinin 20 ° CA'da 9,5 sıkıştırma oranında geç kapanması parametreleri kullanılmıştır. Testlerde tork, güç, BSFC (Brake Specific Fuel Consumption) ve ısıl verimin hıza bağlı değişimi araştırılmıştır. Termodinamik analizde özgül ısıların sıcaklıkla değişimi, ısı kayıpları, pompalama ve mekanik sürtünme kayıpları dikkate alınmıştır. Deneysel ve teorik sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Termodinamik analize göre en yüksek tepe basıncı 6296 kPa olarak Atkinson CR (Compression Ratio) 9.5 çevrimi ile elde edilmiştir. Yüksek motor devirlerinde standart Otto çevrimi çalışmasına kıyasla Atkinson CR9.5 çalışmasıyla tork, güç, BSFC ve ısıl verimin arttığı elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, Atkinson CR9.5 motor torku 3400 rpm motor devrinde standart Otto çevrimi çalışmasına göre %6,7 oranında artmış, ısıl verim ise %12,8 oranında artmıştır. Düşük motor devirlerinde, LIVC (Late Intake Valve Closing) nedeniyle motor performans parametreleri kötüleşmiş ve Atkinson CR8.5 çalışmasıyla efektif sıkıştırma oranında azalma görülmüştür [10].

Niu Qingyu, Güneş Baigang, Zhang Dongsheng ve Luo Qinghe’ nin 2020 senesinde yaptığı çalışmada, Atkinson çevrim motorları için yeni bir performans optimizasyon stratejisi ve Atkinson çevrim motorlarının yakıt tasarrufu mekanizması düşük hız ve kısmi yükte çok detaylı olarak araştırılmıştır. Termodinamik analiz ve tek boyutlu simülasyonun birleştirilmesiyle Atkinson çevrimli benzinli motorun yeni bir optimizasyon stratejisi önerilmektedir. Atkinson çevrim motorunun yakıt tasarrufu mekanizması da derinlemesine analiz edilmiştir. Ana sonuçlar: Atkinson çevrimi, tüm basınç artış oranlarında, özellikle yüksek basınç artış oranlarında, çevrim verimliliği açısından önemli bir avantaja sahiptir. Basınç artış oranı ve genleşme oranının etkin sıkıştırma oranına oranı Atkinson çevrimi üzerinde önemli etkiye sahiptir. Sabit bir basınç artış oranında, Atkinson verimliliği önce maksimum bir değere kadar artmakta, daha sonra azalmaktadır. Atkinson çevrim motorunun optimizasyon stratejisi önerilmiştir. Sıkıştırma oranı aralığı, termodinamik analiz yoluyla küçük basınç artış oranında Atkinson döngüsü verimliliğine göre ön olarak belirlenmiştir; IVC 'nin sıkıştırma oranlarındaki optimizasyonu, sıkıştırma basıncı kısıtlaması altında sunulmuş ve sıkıştırma oranı ve diğer valf zamanlaması, tek boyutlu simülasyon yoluyla optimize edilmiştir. Pompalama kayıpları ve yakıt ekonomisinde önemli iyileştirmeler elde edilmiş ve bu da mevcut optimizasyon stratejisinin etkinliğini doğrulanmıştır. PMEP (Pumping Mean Effective Pressure) azalmasına bağlı olarak mekanik verimin artması, düşük ve orta yükte yakıt

ekonomisindeki iyileşmenin ana nedeni iken, belirtilen termal verimdeki artış, yüksek yükte yakıt ekonomisindeki iyileşmenin ana nedeni olduğu sonucuna varılmıştır. Atkinson çevrim motorunun BSFC'si, 2 barda 2000 rpm'de %9 ve 3 barda 3000 rpm'de %8 oranında iyileştirilmiştir. PMEP 'deki düşüşün temel nedeni emme basıncındaki artıştır. Atkinson çevrimli motor daha belirgin sabit hacimli yanma elde edebilir ve yanma kalitesi büyük ölçüde iyileştirilmiştir [11].

G. Murtaza, A. I. Bhatti ve Q. Ahmed' in 2021 senesinde yaptığı çalışmada, esnek emme valfi yük kontrol stratejisine sahip Atkinson çevrim motoru için bir kontrol çerçevesinin tasarımını ve geliştirilmesini özetlemektedir. Daha iyi yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla orta ve yüksek çalışma koşullarında standart NEDC (New European Driving Cycle), FUDS (Federal Urban Driving Schedule) ve FHDS (Federal Highway Driving Schedule) sürüş çevrimleri için yakıt ekonomisi perspektifinde değerlendirilmektedir. Atkinson çevrim motorunun kısmi yük kayıplarını gösteren simülasyon sonuçları, geleneksel SI motorun WOT (Wide Open Throttle) kayıpları ile karşılaştırılabilirken, NEDC, FUDS ve FHDS sürüş çevrimleri sırasında termal verimlilikte önemli bir artış elde edilmiştir. Yukarıda bahsedilen iyileştirmelerin her ikisi de VVT motorun yakıt tüketiminin azaltılmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. NEDC, FUDS ve FHDS sürüş çevrimleri sırasında VCR Atkinson çevrimli motorla geleneksel Otto çevrimli motora göre yakıt ekonomisinde ortalama %6,22, %7,17 ve %6,65 oranında iyileşme elde edilmiştir. Atkinson çevrim motorunun, özellikle motor kısmi yük çalışma aralığı açısından, geleneksel SI motordan önemli ölçüde verimli olduğu kanıtlanmıştır. Geliştirilen kontrol çerçevesini, standart sürüş çevrimleri ile elde edilen yardımcı yüklerin ve belirsiz yol yüklerinin varlığında sağlam kontrolör ile araç seviyesinde değerlendirilmesi gerekmektedir [12].

Yangtao Li, Emir Khajepour ve Cécile Devaud' un 2018 senesinde yaptığı çalışmada, hidrolik tahrikli supap mekanizmasının (HAVT) sunduğu esneklik kullanılarak, yeni tanıtılan bir motor çevrimi olan değişken Otto-Atkinson çevrimini (VOAC) gerçekleştirmek için bir dizi yeni supap hareket stratejisi geliştirilmiştir. Bu araştırmadaki tanıtıcı VOAC test motoru, kısmi yükte değişken bir Atkinson çevrimi (VAC) gerçekleştirirken daha yüksek güç performansı elde etmek için tam yükte değişken bir Otto çevrimi (VOC) gerçekleştirebilen, dönüştürülmüş temel tek silindirli bir motor elde edilmiştir. Motora herhangi bir ilave değişiklik yapmadan veya motora ilave bileşenler eklemeden daha iyi yakıt ekonomisi elde etmeye yönelik işlemler yapılmıştır. Temel tek silindirli motor GT-Suite'te modellenmiş ve bir dizi deneyle dikkatle kalibre edilmiştir. Önerilen VOAC'ın optimize edilmiş parametrelerle benimsenmesiyle, tüm hız aralığında tam yükte işlemlerde motor çıkışında ortalama %13,5'lik bir iyileşme elde edilebileceği görülmüştür. Bunun da ötesinde, kısmi yükte çalışan motorun örneklenmiş hız-yük haritasına göre sonuçta ortaya çıkan BSFC'nin ortalama 16,1 g/kW·saat kadar azalabileceği de görülmüştür [13].

Jinxing Zhao ve Min. Xu' nun 2013 senesinde yaptığı çalışmada, Yapay Sinir Ağı Yöntemi esas alınarak tam yükte çalışma koşullarında yakıt ekonomisi en üst düzeye çıkarılarak geometrik sıkıştırma oranı (GCR) 12,5 olan bir Atkinson çevrim motoru tasarlanmıştır. Ancak Atkinson çevrim motoru genellikle kısmi yük koşullarında, özellikle orta ila yüksek yük aralığında çalışmaktadır. Kısmi yük için yakıt ekonomisinin optimizasyonu toplam yakıt tüketiminin

azaltılmasında daha önemlidir. Atkinson çevrim motoru, yakıt ekonomisi üzerinde etkisi olan emme valfi kapatma zamanlamasını ve elektriksel kısma kontrolünü (ETC) birleştiren yük kontrol stratejisini uygulamaktadır. Ayrıca egzoz valfi açılma (EVO) zamanlaması, kıvılcım açısı (SA) ve hava-yakıt oranı (AFR) da yakıt ekonomisini etkilemektedir. Bu çalışma değişkenlerini tüm çalışma aralığı boyunca deneyler yoluyla kalibre etmek, zorluk ve maliyet büyük bir sorun haline gelecektir. Atkinson çevrim motorunun MATLAB genetik algoritması (GA) ve 1-D GT-Power simülasyon modellerini birleştirerek fiziksel model tabanlı bir optimizasyon şeması önerilmiştir. GT-Power modelleri, tüm çalışma aralığını kapsayan çeşitli hız-yük noktalarında alınan deneysel verileri kullanarak yanma ve ısı transferi alt modellerinin parametrelerini kalibre ederek kısmi yük koşullarını doğru bir şekilde simüle edecek şekilde geliştirilmiştir. Yakıt ekonomisi, Genetik Algoritma kullanılarak kısmi yükte kalibre edilmiş GT-Power modellerine göre optimize edilmiştir. Her hız-yük noktası optimize edildikten sonra IVC zamanlamaları, SA vb. için kontrol haritaları elde edilmiştir. Daha sonra sayısal olarak optimize edilmiş bu kontrol haritaları, motor kalibrasyonunun başlangıç değerleri olarak motor kontrol ünitesine (ECU) girilmiş ve bunlar deneysel olarak daha da optimize edilmiştir. Deneysel sonuçlar, kısmi yüklü GT-Power modellerinin maksimum %8,5 hatayla yeterli tahmin doğruluğuna sahip olduğunu göstermektedir. GA tarafından optimize edildikten sonra yakıt ekonomisi, çalışma aralığı boyunca büyük oranda iyileştirilmiş ve maksimum iyileştirme %7,67'ye ulaşmıştır [14].

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Günümüzde giderek katılaşan egzoz emisyonu standartları, sınırlı fosil yakıt rezervleri ve küresel çevre politikaları doğrultusunda, konvansiyonel içten yanmalı motorlara sahip araçların yerini hibrit ve tam elektrikli araçlara bırakacağı öngörülmektedir. Bu dönüşüm sürecinde, enerji verimliliğini artırmak ve emisyonları azaltmak amacıyla içten yanmalı motor teknolojilerinde de çeşitli optimizasyon çalışmaları yürütülmektedir. Bu bağlamda, Atkinson çevrimli motorlar üzerine yapılan deneysel ve teorik çalışmalar, bu çevrimin klasik Otto çevrimine kıyasla daha düşük özgül yakıt tüketimi sağladığını ve genleşme oranının artırılması sayesinde termodinamik verimliliği yükselttiğini ortaya koymaktadır.

Atkinson çevriminde, emme supabının geç kapanması ile efektif sıkıştırma oranı düşürülmekte; bu durum, yanma sonrası genleşme işleminin daha uzun sürmesine olanak tanıyarak çevrimden elde edilen net iş miktarını artırmaktadır. Değişken supap zamanlaması, elektronik kontrollü eksantrik milleri ve gelişmiş motor kontrol üniteleri (ECU) gibi motor mimarisi üzerinde yapılan yapısal ve kontrol odaklı değişiklikler içten yanmalı motorları farklı çevrim karakteristiklerine adapte edilebilir hale getirmiştir. Bu tür mühendislik çözümleri, motorun çalışma koşullarına göre çevrim yapısının optimize edilmesini mümkün kılarak, özellikle şehir içi sürüş koşullarında yakıt tüketiminin minimize edilmesine ve böylece hem çevresel hem de ekonomik faydaların maksimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda Atkinson çevrimi, araç platformlarında sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir rol üstlenmektedir.

KAYNAKÇA

1. Fu, J., Liu, J., Feng, R., Yang, Y., Wang, L., & Wang, Y. Energy and exergy analysis on gasoline engine based on mapping characteristics experiment, Applied energy,February,102, 622-630,2013.

2. Fu, J., Liu, J., Yang, Y., Ren, C., Zhu, G., A new approach for exhaust energy recovery of internal combustion engine: steam turbocharging, Applied Thermal Engineering, April,52(1),150-159,2013.

3. Fu, J., Liu, J., Wang, Y., Deng, B., Yang, Y.,Feng, R., Yang, J., A comparative study on various turbocharging approaches based on IC engine exhaust gas energy recovery, Applied Energy, January,13(1),248-257,2018.

4. https://ceyrekmuhendis.com/dort-zamanli-motor-nasil-calisir/

(Erişim tarihi: 10.06.2025)

5. Atkinson, J., "Atkinson engine." US patent 367496, 25,1887.

6. Demirci, K., *Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Miller Çevrimi Uygulaması, Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.

7. Gök, Ç., *Atkinson Çevrimine Göre Çalışan Bir Motorda LPG Kullanımının İncelenmesi*, The 1st International Symposium on Automotive Science and Technology ,September,30-38, 2019.

8. Pulkrabek, W.W., Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine,New Jersey, March,229-261,2003.

9. https://www.actualidadmotor.com/tr

(Erişim tarihi: 12.06.2025)

10. Çınar, C.,Theoretical and experimental investigation of the performance of an Atkinson cycle engine,Arabian Journal for Science and Engineering,April,46,7841-7850,2021.

11. Niu, Q.,Research on performance optimization and fuel-saving mechanism of an Atkinson cycle gasoline engine at low speed and part load,April,Fuel 265, 117010,2020.

12. Murtaza, G., Bhatti, A. I., & Ahmed, Q.,Design, Development, and Evaluation of a Control Framework for an Atkinson Cycle Engine,Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, May,140(5), 051005,2018.

13. Li, Yangtao, Amir Khajepour, and Cécile Devaud.,Realization of variable Otto-Atkinson cycle using variable timing hydraulic actuated valve train for performance and efficiency improvements in unthrottled gasoline engines, Applied energy,July, 222, 199-215, 2018.

14. Zhao, Jinxing, and Min Xu.,Fuel economy optimization of an Atkinson cycle engine using genetic algorithm, Applied Energy,May,105,335-348,2013.

DESIGN OF A PROCESS CONTROL EXPERIMENTAL SETUP FOR TEMPERATURE CONTROL WITH PID CONTROLLER USING TIA PORTAL

Şaheste Berfin GENÇTOR
Izmir Katip Celebi University,
berfingenctorr@gmail.com – 0009-0006-6916-2608

Mehmet Uğur SOYDEMİR
Izmir Katip Celebi University,
soydemirmehmetugur@gmail.com – 0000-0002-2327-1642

Savaş ŞAHİN
Izmir Katip Celebi University,
savas.sahin@ikcu.edu.tr – 0000-0003-2065-6907

ABSTRACT

This study presents the design of an industrial process control experimental setup for temperature control. The experimental setup improves industrial applications by creating a working environment equipped with four tanks, pneumatics, motor drivers, sensors, a Programmable Logic Controller (PLC), solenoid valves, and a Peltier heater, directly contributing to the goal of Industry, Innovation and Infrastructure from Sustainable Development Global Goals of the United Nations. The study comprises four main stages: experimental setup and installation, writing the PLC program for sensor measurements and temperature control within the central tank, design of Human-Machine Interface (HMI) panel interface for valve control, design of Graphical User Interface (GUI) including PID graph in MATLAB communicating with OPC UA protocol and implementation of real-time temperature control. After the equipment wiring is carried out via the PLC for the installation process, the PLC program is written in the Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), and the interface of HMI panel is designed in TIA Portal to control the valves. GUI showing PID graph is designed in MATLAB communicating with OPC UA. Temperature is controlled using Proportional Integral Derivative (PID) controller, and tracking performance is evaluated in terms of overall error, settling time and overshoot percentage. The results demonstrate the applicability of PID control for temperature in industrial automation installations and its

adaptability to various process scenarios, verifying that the designed control system successfully maintains the desired temperature within a specified range.

Keywords: Process Control, PLC, TIA Portal, PID

INTRODUCTION

The setups established by modeling industrial automation systems used in factory industrial facilities provide the opportunity to conduct experiments and studies on process control in a laboratory environment. These setups provide the application of basic concepts of industrial automation and control engineering such as temperature control, flow and liquid level regulation under laboratory conditions in a safe environment [1]. A modular working environment is provided with the setups formed as a result of the integration of industrial automation equipment such as solenoid valves, sensitive temperature sensors, peltier modules, capacitive sensors, PLCs and HMIs to demonstrate the applicability of various control strategies including PID controllers. PID controllers, which are widely used in process control, create a balance between responsiveness, steady-state accuracy and disturbance rejection [2]. PID controllers not only use feedback mechanisms, but also provide opportunities to observe changing system behavior, adjust control parameters and evaluate control performance under changing set points and environmental conditions [3]. These setups, which transfer liquid from tank to tank via valves controlled via the panel interface, aim to keep the liquid at the desired temperature [4].

In the literature, various innovative methods and the results of these methods have been shown for the control of process control experimental setups and industrial automation systems. In a study, scenarios have been determined for those using the Renu PLC trainer KIT to make sense of modern process control systems. The program code of these scenarios was written and the laboratory development was contributed by ensuring that PLCs and their working practices were learned [5]. In another study, temperature and relative humidity data were transferred to Matlab/Simulink, which communicates with OPC, by PLCs. According to the felt temperature and relative humidity, the percentage of fan speed was calculated using the Fuzzy Controller in Matlab/Simulink and the necessary physical output was activated. This system proved how quickly complex processes in PLCs can be solved with Matlab/Simulink [6]. In another study, a new electronic card design was made for the process control training set made by Bytronic. This design showed the applicability of different control methods to be provided with different platforms such as MATLAB, .NET, C#, LabVIEW etc. [7]. In another study, four different automation applications were developed, such as temperature-dependent speed control, synchronous operation of spring bending machine motors, product control and sending humidity-temperature data to SCADA with Arduino. The study concretely demonstrates the time, efficiency and ease of control provided by SCADA in automation processes [8]. In another study, a PID-based control system utilizing a Peltier module to regulate temperature was implemented, achieving a stable response with real-time feedback via DS18B20 temperature sensors and an Arduino [9]. In another study, an embedded temperature control system

using a PIC microcontroller, a digital temperature sensor (MCP9803), and a MOSFET-driven actuator was presented. Control was initially provided in an on-off mode, followed by precise temperature regulation using a PID controller [10]. In recent years, technological advancements have further enhanced the temperature control strategies for liquid systems. The system stability of PID controllers is increased by preferring sensors such as PT100, which provide higher precision, a wide temperature range and industrial reliability.

In this study, a process control experimental setup was designed to regulate the temperature of a liquid in a central tank using a PID controller. The PID controller, implemented through a program developed in the TIA Portal environment, governs the liquid temperature via feedback received from a PT100 sensor. The generated PID controller output employs a Peltier module, which functions as both a heater and a cooler by PWM signals. The setup includes an HMI panel that works in coordination with the PLC to manage the fluid transfer with valves. TIA Portal and MATLAB communicate using the OPC UA protocol, and users are provided with the opportunity to change the PID parameters as desired and to monitor them in real time through a specially developed MATLAB GUI design. This integration not only performs basic control, but also facilitates data analysis. The setup that has been installed can be used in both education and research areas by providing an effective working environment. Studies conducted on the setup show that temperature control methods in automation systems can also be applied in laboratory environments.

The study is presented as follows: In the second section, the experimental setup and installation, the writing of the PLC program, the design of the Human-Machine Interface (HMI) panel interface for valve control, the design of the Graphical User Interface (GUI) in MATLAB communicating with the OPC UA protocol are presented. In the third section, temperature control tests are performed in the experimental setup, and the test results are evaluated in terms of overall error, settling time and overshoot percentage. In the fourth section, the conclusion and recommendations are presented for its adaptability to future process scenarios.

MATERIALS AND METHODS

The hardware equipment used in this study works in harmony during the temperature control process of the liquid as a result of the integration into the experimental setup. The temperature of the liquid in the central tank is measured precisely with the PT100 temperature sensor and the S7-1500 PLC processes this data. The Peltier module driven by the motor driver with PWM provides heating or cooling by being driven with the appropriate voltage with the PID control signal. The minimum capacitive sensors are positioned at the bottom of the tank and the maximum capacitive sensors are positioned above it to obtain the liquid level information inside. During the liquid transfer from the auxiliary tank to the central tank, the liquid pressed by the liquid pump driven by the motor driver card is directed via solenoid valves. All these hardware equipment are controlled in real time by the S7-1500 PLC and the system is controlled.

Experimental Setup and Installation

This subsection explains the hardware equipment used in the installation of the process control experimental setup, the functions of use in process control setups, the purposes of use in the experimental setup, and the relationships established between the equipment during the integration of the hardware equipment into the setup.

2.1.1. S7-1500 PLC

PLCs are typically designed to control and monitor industrial equipment in real-time, based on custom programming, and used in process control. The S7-1500 is a PLC device manufactured by Siemens (Figure 1). S7-1500 PLCs are programmed using STEP 7, a programming language. The S7-1500, which has input and output (I/O) units and a central processing unit, has a modular structure. Digital output, digital input, analog output and analog input modules are used to enter data from sensors and valves into the PLC. The S7-1500 PLC, which could connect to industrial networks and other devices, was used to control the temperature in the central tank of the IPC-201C process control experimental setup. These features allow automation systems to be integrated into a wider network.



Figure 1. S7-1500 PLC [11]

2.1.2. Motor Drivers

There are two motor drivers in the designed process control experimental setup (Figure 2). They amplify the low current signal from the controllers. One of them provides PWM for driving of the Peltier module by supplying a voltage in the range of 0-24V, and the other provides a PWM in the voltage range of 0-12V to the liquid pump.



Figure 2. Motor Driver [12]

2.1.3. Liquid Pump

Liquid pumps are a type of pump designed for direct installation (Figure 3). They are used to transfer liquid from the auxiliary tank to the central tank. The liquid pump used in the experimental setup has a maximum carrying capacity of 4 L per minute and a compact design.



Figure 3. Liquid Pump [13]

2.1.4. Peltier Module

The Peltier module (Figure 4), a thermoelectric system, absorbs heat energy from one substrate while the charge carriers release heat from the opposite substrate. The side where the heat is absorbed cools, and conversely, the side where the heat is released becomes hot. Due to its structure, when direct current is applied to both ends, it heats or cools depending on the polarity. Reversing the polarity will result in opposite hot and cold sides. It provides a fast response to sudden temperature changes in industrial automation processes. The Peltier module is connected to the bottom of the central tank in the experimental setup and provides heating or cooling as needed.



Figure 4. Peltier and Vent [14]

2.1.5. Capacitive Sensors

Capacitive sensors work by creating an electrostatic field; when a target object enters this field, it causes a change in capacitance, which the sensor detects and then converts into an output signal. It is used to obtain maximum and minimum liquid level information in a central tank (Figure 5).

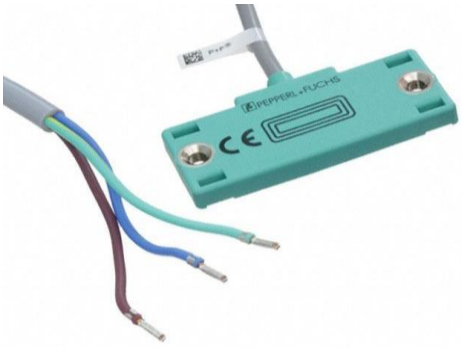


Figure 5. Maximum and Minimum Capacitive Sensors [15]

2.1.6. Solenoid Valves

It basically works by opening or closing the fluid hole (orifice) in the valve body (Figure 6). It is an equipment used to allow or block the transfer of liquid. They work by opening and closing with an electrical signal to control liquids such as air, gas, oil, water and water vapor in various systems. The 2-way normally closed valve design offers high performance and fast response for precise flow control in applications such as pneumatic or hydraulic systems.



Figure 6. Solenoid Valve [16]

2.1.7. PT100 Temperature Sensor

The PT100 temperature sensor is a type of platinum resistance thermometer used in the industry (Figure 7). PT indicates that the sensor is made of platinum, while 100 refers to the sensor's resistance of 100 ohms at 0°C. It works on the principle that the electrical resistance of platinum changes predictably with temperature changes. As the temperature increases, the resistance of the platinum element also increases. This change is measured instantly in the liquid in the central tank of the process control experimental setup and converted into temperature readings.



Figure 7. PT100 Temperature Sensor [17]

The general view of the process control experimental setup designed for the laboratory environment is given in Figure 8. In this experimental setup, all hardware components work in an integrated manner to provide precise control of the liquid temperature in the central tank.

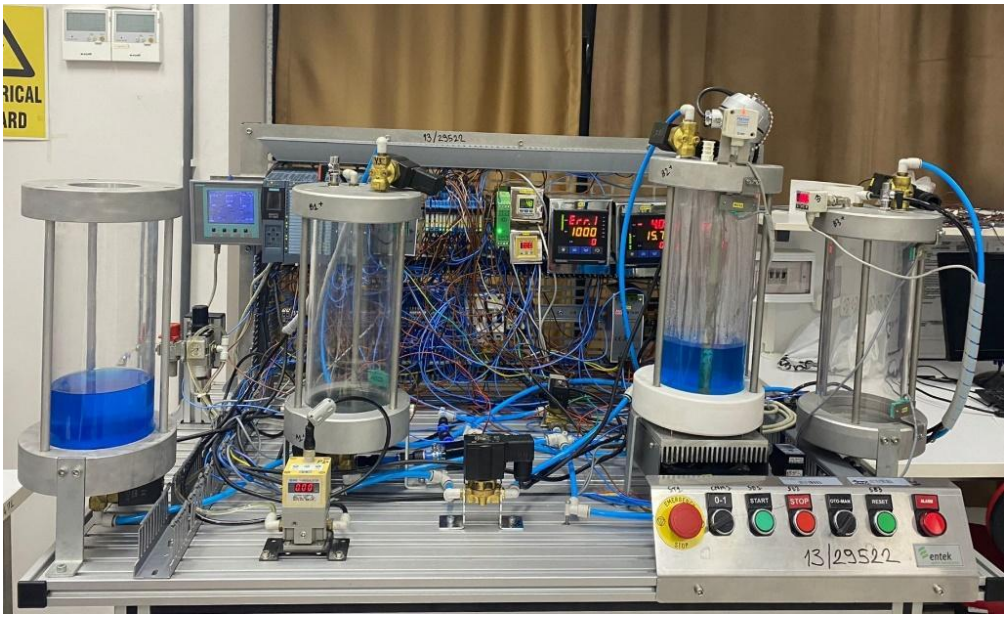


Figure 8. Process Control Experimental Setup

Writing the PLC Program

The control program of the completed process control system via PLC was written in Siemens TIA Portal environment. The PID controller block written in this system provides a stable and fast response to the system by bringing the process variables closer to the reference value. The PID control algorithm generates the appropriate output signal by calculating the difference between the desired reference temperature value and the measured process temperature value. This signal becomes the input signal of the motor driver driving the Peltier module and thus the PID controls try to keep the measured temperature at the reference temperature by controlling the Peltier module. The PID control output provides the Peltier module to switch between heating and cooling by creating the necessary signal. The program blocks are specially written for the Peltier module, which has a dual polarity, to perform cooling. When the process temperature exceeds the reference temperature, the PID output activates the cooling of the Peltier module; otherwise, it activates its heating. This allows dynamic switching between modes based on real-time feedback. When the process temperature exceeds the reference temperature value, the polarity of the Peltier module is reversed, and the cooling process commences. Similarly, when the temperature value falls below the set point, the polarity is changed again, and heating is performed. Thus, the PID control system attempts to maintain the temperature at the set point. As seen in the figure, the parameters and coefficients in the PID block can be adjusted by the user as desired. The blocks that perform the temperature control process are given in Figure 9. This structure makes the system adaptable and sensitive to changing ambient conditions.

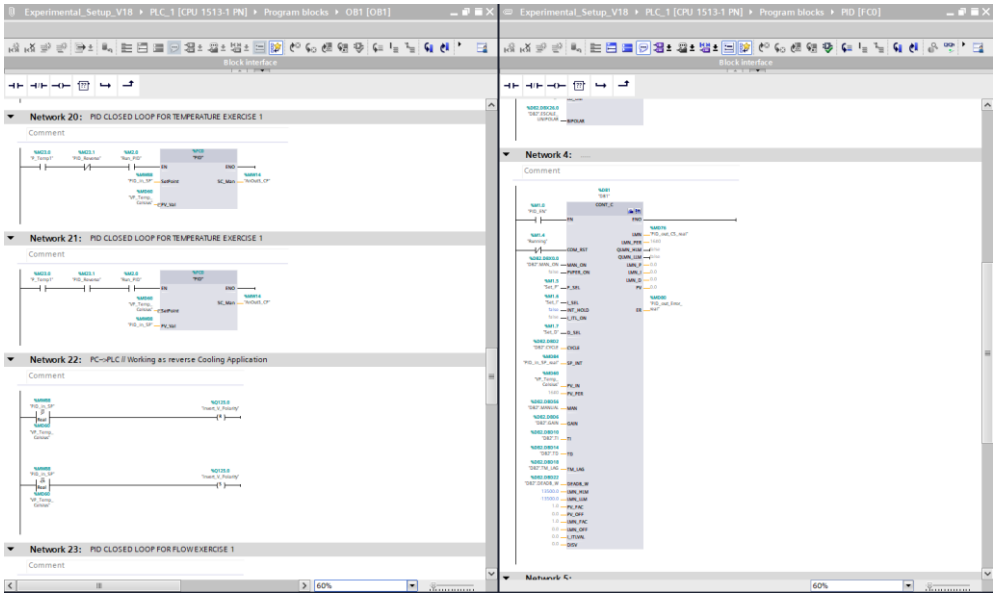


Figure 9. PLC Program for Sensor Measurements and Temperature Control

PID controller parameters and coefficients are shown in Equation 1. In the equation below, K_p represents the proportional, T_i integral time and T_d derivative time constants. In addition, $e(t)$ represents the error signal and $u(t)$ represents the controller output.

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right] \quad (1)$$

Design of HMI Panel Interface for Valve Control

HMI panels allow users to monitor real-time process data and interact efficiently with the control system. In this study, an HMI panel interface was designed in the TIA Portal environment to provide control and supervision of the valve system (Figure 10). The interface was designed to display key process variables, primarily temperature. The A4+, A5+ and B2+ solenoid valves are activated via the panel to transfer fluid from the auxiliary tank to the central tank. The design prioritizes clarity and responsiveness, supporting effective process control.

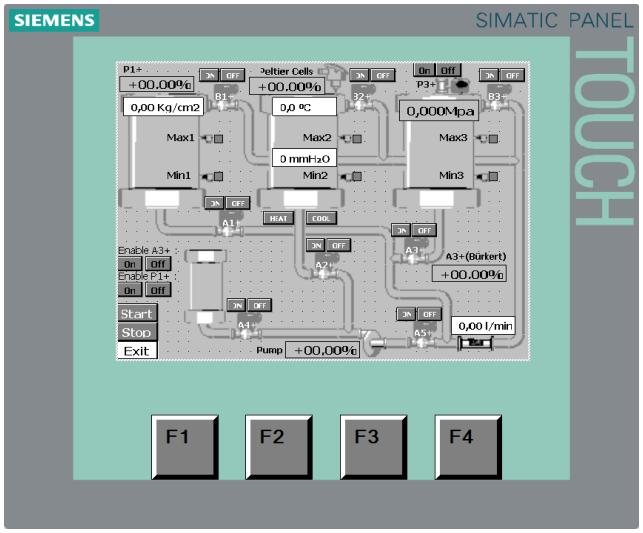


Figure 10. Design of HMI Panel Interface for Valve Control in TIA Portal

Figure 11 shows the HMI interface design on the Siemens KTP400 Basic Mono PN panel integrated into the experimental setup. Due to its compatibility with the S7-1500 PLC, this device offers a simple monitoring and control interface. Despite its monochrome display and limited graphic resolution, the panel meets all operational requirements of the system. The interface displays real-time data, enabling users to observe the system's status and control valve operations directly. This application demonstrates that even simple HMI solutions can provide sufficient control capabilities in industrial systems where they are used.



Figure 11. KTP400 Basic Mono PN Panel Interface for Valve Control

Design of GUI

The MATLAB-based GUI presented in Figure 12 is designed to enable real-time temperature data collection, adjust PID control parameters, and monitor system response on dynamic graphs via the Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) protocol. The OPC UA

architecture establishes communication between independent platforms in industrial automation systems and provides secure machine-to-machine communication. In the background, the OPC UA client object created using MATLAB's OPC Toolbox library connects to the S7-1500 PLC server and periodically reads the analog temperature data from the PT100 sensor, transmitting it to the GUI. The PID algorithm calculates the error signal in each sampling cycle. By sending the relevant control commands to the PWM-based Peltier driver, the temperature of the liquid in the central tank is kept at the desired reference temperature. As a result of this integration, both the control parameters can be adjusted and the temperature response can be monitored in real time, creating a comprehensive infrastructure for the performance analysis of the experimental setup.

Thus, the user's reference temperature value and the current measured temperature value are displayed simultaneously on the interface. Proportional (K_p), integral (T_i) and derivative (T_d) gains can be manually adjusted via PID parameter blocks. It plots the control signal as a percentage of the Peltier module simultaneously, allowing instant monitoring of performance such as settling time and overshoot.

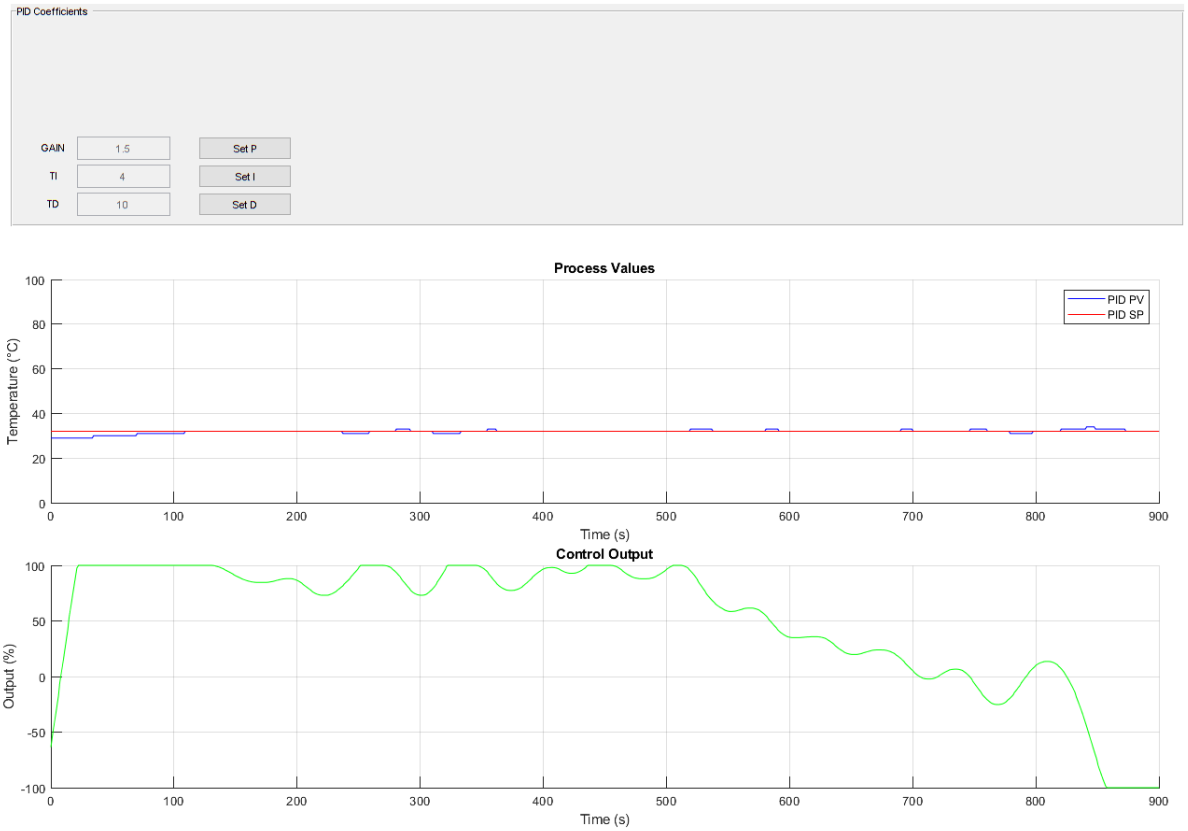


Figure 12. Design of Graphical User Interface

EXPERIMENTAL RESULTS

To evaluate the performance of the designed PID controller, the experimental verification of the temperature control system was carried out on the process control experimental setup. Real-time data exchange between the S7-1500 PLC and the MATLAB-based GUI was successfully implemented using the OPC UA communication protocol with a latency of less than 100 milliseconds. This provided a smooth and responsive interaction between the PID controller and the interface. System evaluation was performed by calculating response characteristics of the data received via communication, such as settling time, overshoot percentage, and steady-state error. The GUI provided comprehensive monitoring by displaying temperature trends and visualizations of the Peltier module's operational behavior.

Figure 13 represents the control scenario where the system response is expected when the reference temperature is set to 32°C. The PT100 temperature sensor with a resolution of ±0.15°C provided precise and reliable temperature feedback to the PID controller. In the PID controller design graph, the blue line represents the reference temperature and the red line represents the measured process temperature over time. At the beginning of the experiment, it is observed that the Peltier module operates in heating mode to quickly reach the entered reference temperature of the controller process temperature. The PID controller parameters are set to Kp = 1.5, Ti = 4 seconds and Td = 10 seconds. Proportional gain prevents the system from slowing down and provides a more stable response by reducing the risk of sudden overshoot. The high value of the integral time constant allows the system to reach the target temperature more stably. The high value of the derivative time constant suppresses sudden temperature changes in the system, reducing overshoot and oscillations. Under these settings, the system reached the ±1°C setpoint range in approximately 12 minutes. The maximum overshoot recorded was 2.3°C, corresponding to an overshoot of 6.6% based on the difference between the actual and target temperatures. The steady-state error remained below 0.5°C throughout the entire experiment. The Peltier module has a dual polarity. Its behavior is determined by the reference temperature and automatically switches between heating and cooling modes due to its bidirectional operation feature. When the measured temperature exceeds 32°C, the module switches to cooling mode, while temperatures below the setpoint trigger heating. As seen in the Peltier module working percentage graph, the control signal line of the Peltier module exhibits operating behavior between -100% (full cooling) and +100% (full heating). Experimental results verify the effectiveness of the implemented PID control strategy in maintaining precise temperature control without requiring additional mechanisms. The accurate and stable performance of the system under various operating conditions proves its suitability for industrial process control applications.

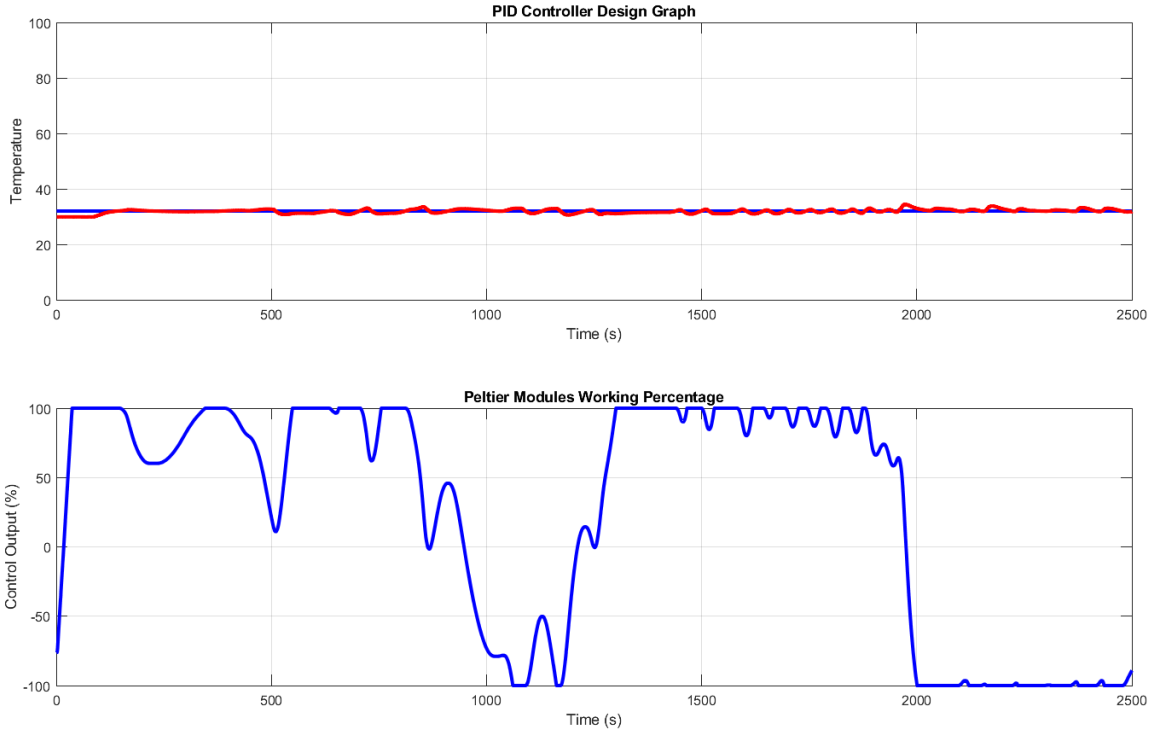


Figure 13. Graph of PID Controller Design and Peltier Modules Working Percentage

CONCLUSION

This study presents the design and implementation of a process control experimental setup for temperature control using a PID controller designed in the TIA Portal environment. System tests performed by integrating a PT100 sensor, a Peltier module and a motor driver via an S7-1500 PLC and communicating via the OPC UA protocol demonstrated real-time temperature control. The system successfully achieved temperature control with a settling time of 12 minutes, a maximum overshoot of 6.6%, and a steady-state error of less than 0.5°C. The experimental setup, which provides an understanding of the basic concepts of industrial automation and process control, provides an ideal training and experimentation environment under laboratory conditions. The MATLAB-based GUI, which provides real-time monitoring and control, facilitates the learning experience by providing a comprehensive visualization of system behavior. The setup allows design development by adding different hardware equipment, using various control strategies, and future work is expected to focus on advanced control algorithms such as fuzzy logic or neural networks. This study provides valuable contributions to engineering education, industrial automation research and process control mechanisms by providing effective work opportunities in a laboratory environment and combining theoretical concepts with practical application.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by the Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK) under 2209A – Research Project Support Program for Undergraduate Students with project number 1919B012411061.

REFERENCES

[1] Zhang, R., Wu, S., Gao, F., Improved PI Controller Based on Predictive Functional Control for Liquid Level Regulation in a Coke Fractionation Tower, Journal of Process Control, March, 24(3): p. 125-132, 2014.

[2] Kiam, H.A., Chong, G., Yun, L., PID Control System Analysis, Design and Technology, IEEE Transactions on Control Systems Technology, July, 13(4): p. 559-576, 2005.

[3] Oliveira, P.M., Hedengren, J.D., An APMonitor Temperature Lab PID Control Experiment for Undergraduate Students, 2019 24th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), September 10-13, 2019, Zaragoza, Spain.

[4] Meera, C.S., Sunny, S., Singh, R., Sairam, P.S., Kumar, R., Emannuel, J., Automated Precise Liquid Transferring System, 2014 IEEE 6th India International Conference on Power Electronics (IICPE), December 8-10, 2014, Kurukshetra, India.

[5] Gupta, R.K., Namekar, S.A., Singh, A., Chauhan, J., Patel, A, PLC Programming for Various Application Under Lab Development, International Journal of Research in Engineering, Science and Management, June, 3(6):p. 329-333, 2020.

[6] User, Y., Kara, C., Real-Time Communication between S7-1200 PLC and Matlab/Simulink and a Fuzzy Logic Temperature Humidity Control Application, Techno-Science, January, 2(1):p. 7-14, 2019.

[7] Güllü, A., Kuşcu, H., Akı, M.O., An Application for the development of Process Control Training Set, The Online Journal of Science and Technology, October, 6(4):p. 17-21, 2016.

[8] Məmmədli, M., Kabaoğlu, R.O., Simultaneous Monitoring and Control of Automation Systems with SCADA Based PLC, Bilecik Seyh Edebali University Journal of Science, June, 8(1):p. 336-344, 2021.

[9] Ponikvar, D., Experiments on temperature regulation using a Peltier element and PID technique, Eur. J. Phys., 43(3): p. 035809, 2022. doi: 10.1088/1361-6404/ac5b1f.

[10] Dulau, M., Experiments on Temperature Control Using On-Off Algorithm Combined with PID Algorithm, Acta Marisiensis. Seria Technologica, 16(1): p. 5-9, 2019.

[11] https://tiootomasyon.com/urun/simatic-s7-1500-failsafe-cpu/ Last access date: 08.06.2025

[12] https://mugul.com/motor-kontrol/ Last access date: 08.06.2025

[13] https://tr.aliexpress.com/item/33064043053.html Last access date: 08.06.2025

[14] https://www.voltaat.com/products/thermoelectric-peltier-cooling-system-kit Last access date: 08.06.2025

[15] https://www.pepperl-fuchs.com/tr-tr/products-gp25581/1884 Last access date: 08.06.2025

[16] https://sg.rs-online.com/web/p/solenoid-valves/6681848 Last access date: 08.06.2025

[17] https://srcsl.com/en/what-is-a-pt100-sensor/ Last access date: 08.06.2025

KABLO SEKTÖRÜNDE YANGINA DAYANIM SINIFLANDIRMASI İÇİN DERİN ÖĞRENME DESTEKLİ KAYIP VERİ YÖNETİMİ

Öğretim Görevlisi Umut YAMAK
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
umut.yamak@omu.edu.tr- https://orcid.org/0000-0002-5702-9440
Burak SEÇKİN
Borsan Ar-Ge Merkezi
burakseckin@borsan.com.tr- https://orcid.org/ 0000-0003-1168-4869
Dr. Selin Ceren YAMAK
Borsan Ar-Ge Merkezi
selincerenyamak@borsan.com.tr- https://orcid.org/0000-0002-0290-5298
Prof. Dr Yüksel TERZİ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
yukselt@omu.edu.tr- https://orcid.org/0000-0003-4966-8450

ÖZET

Kablo sektörü, enerji ve veri iletiminin güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde sağlanmasında kritik rol oynamakta; özellikle yangına dayanım performansı hem insan hayatı hem de altyapı güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Avrupa Birliği'nin Construction Products Regulation (CPR) yönetmeliği kapsamında, kabloların yangına karşı davranışı çeşitli testlerle değerlendirilmekte ve performanslarına göre sınıflandırılmaktadır. Ancak, üretim süreçlerinden ve saha uygulamalarından elde edilen gerçek veri setlerinde, ölçüm hataları, donanım sorunları veya insan faktörü gibi nedenlerle sıklıkla kayıp (eksik) verilerle karşılaşılmaktadır. Kayıp veri problemi, doğru ve güvenilir analizlerin yapılmasını güçleştirmekte, yangına dayanım sınıfının belirlenmesinde belirsizlik yaratmaktadır.

Bu çalışmada, kablo sektöründe CPR tabanlı yangına dayanım sınıfının belirlenmesine yönelik olarak, kayıp veri sorununa odaklanılmıştır. Gerçek sektör uygulamalarında CPR testi ile elde edilen ve rastgele kayıp gözlemler içeren özgün bir veri seti üzerinde, farklı istatistiksel ve derin topluluk (ensemble) öğrenme tabanlı kayıp veri tamamlama (imputation) teknikleri uygulanmıştır. Kayıp verinin tamamlanmasının ardından, tamamlanmış veri seti üzerinde sınıflandırma algoritmaları ile yangına dayanım sınıfı tahmini yapılmış; çeşitli kayıp veri tamamlama stratejilerinin sınıflandırma performansına etkisi karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde

edilen sonuçlar, uygun kayıp veri tamamlama yöntemlerinin, veri kalitesini ve yangına dayanım sınıfı tahmin başarısını anlamlı şekilde artırdığını göstermektedir. Bu çalışma, kablo sektöründe yangına dayanım sınıfının belirlenmesi sürecinde kayıp veri probleminin etkili yönetimine yönelik yenilikçi ve analitik bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, Kablo, Kayıp veri, Sınıflandırma, Yanmazlık

1. GİRİŞ

Günümüzde yapı güvenliği, yalnızca taşıyıcı sistemlerin statik dayanımına ve enerji verimliliğine dayalı bir değerlendirme olmaktan çıkmış; yangın güvenliği, sürdürülebilirlik, kullanıcı sağlığı ve risk yönetimi gibi çok boyutlu kavramları içeren bütüncül bir yapı performansı anlayışına evrilmiştir. Bu dönüşüm, yapı bileşenlerinin yangına karşı gösterdiği davranışın hem düzenleyici otoriteler hem de mühendislik uygulamaları açısından öncelikli değerlendirme kriterlerinden biri hâline gelmesine neden olmuştur. Özellikle enerji iletim ve iletişim altyapısının kritik bir unsuru olan kablolar, yangın anında yalnızca alev yayılımını hızlandırmakla kalmamakta, aynı zamanda yoğun duman ve toksik gaz salınımıyla bina içindeki can güvenliğini ciddi şekilde tehdit etmektedir. Bu durum, kablo sistemlerinin yangın anındaki performanslarının bilimsel temele dayalı biçimde değerlendirilmesini ve sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır.

Avrupa Birliği tarafından 2011 yılında yayımlanarak yürürlüğe giren ve yapı malzemelerinin temel güvenlik gerekliliklerini belirleyen 305/2011 sayılı Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (Construction Products Regulation - CPR), kabloların yangına karşı tepkisini esas alan sınıflandırma sistemlerini zorunlu kılmıştır. 1 Temmuz 2017 itibariyle Avrupa pazarında satılan tüm yapı ürünlerinin, yangın davranışına ilişkin performans beyanı ve CE işareti taşıması zorunlu hale gelmiştir (European Commission, 2011). CPR yönetmeliği kapsamında, kabloların alev yayılımı, ısı açığa çıkarması, duman yoğunluğu, alev damlaması ve toksik gaz salınımı gibi parametreler dikkate alınarak, Aca (en yüksek performans) ile Fca (en düşük performans) arasında sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırmalar, yapı güvenliği ve insan hayatı açısından son derece önemli olmakla birlikte, test süreçlerinin hem yüksek maliyetli hem de zaman alıcı ve teknik olarak karmaşık yapılar içermesi, uygulamada çeşitli kısıtlar yaratmaktadır.

Buna ek olarak, söz konusu yangın performansı testleri gerek laboratuvar ortamında gerekse saha ölçümlerinde çeşitli belirsizliklere ve teknik kısıtlamalara tabidir. Özellikle eksik, hatalı veya tutarsız veri üretimi, sınıflandırma sürecinin doğruluğunu ve güvenilirliğini ciddi ölçüde azaltmaktadır. Bu tür veri problemleri, geleneksel istatistiksel yöntemlerle giderilmeye çalışıldığında modelleme süreçlerinde yapısal eksikliklere yol açmakta; bu da, karar destek sistemlerinin sağlıklı çalışmasını ve yangın güvenliği politikalarının etkin uygulanmasını engellemektedir. Bu bağlamda, son yıllarda makine öğrenmesi (ML) ve derin öğrenme (DL) gibi veri temelli yöntemler, eksik verilerin anlamlı biçimde tamamlanması ve sınıflandırma süreçlerinin yüksek doğrulukla gerçekleştirilmesi açısından önemli bir alternatif olarak öne çıkmıştır. Özellikle derin öğrenme tabanlı modeller, büyük ve karmaşık veri setlerinde dahi güçlü genelleme

yetenekleri sayesinde eksik verilerin bağlamsal olarak tahmin edilmesine ve bu tahminlerin sınıflandırma sürecine entegre edilmesine olanak sağlamaktadır. Bununla birlikte, sınıflandırma algoritmalarının başarımını artırmak için yalnızca veri bütünlüğü değil, aynı zamanda modelin esnekliği, öğrenme yeteneği ve belirsizlik altında karar verebilme kapasitesi de kritik öneme sahiptir.

Bu çalışma, söz konusu gereksinimlerden hareketle, yangın performans testi verilerinde sıklıkla karşılaşılan eksikliklerin derin öğrenme tabanlı yöntemlerle anlamlı biçimde giderilmesini ve bu veriler üzerinden kabloların CPR kapsamındaki yangın dayanım sınıflarının yüksek doğrulukla tahmin edilmesini amaçlamaktadır. Böylece hem test maliyetlerinin azaltılması hem sınıflandırma süreçlerinin hızlandırılması hem de yangın güvenliği açısından daha güvenilir ve ölçeklenebilir bir karar destek altyapısının oluşturulması hedeflenmektedir.

Bu bağlamda çalışma, geleneksel analiz yaklaşımlarının ötesine geçen, eksik verilerle baş edebilen ve doğruluğu yüksek sınıflandırma modelleri üreten bir yapay zekâ temelli çerçeve önermekte; bu yönüyle literatüre ve uygulamaya hem yöntemsel hem de pratik katkı sunmayı amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE METODLAR

Kablo sektörü için CPR yönetmeliği, sadece yasal bir zorunluluk değil, aynı zamanda üretim süreçlerinin standardizasyonu ve tüketici güvenliğinin artırılması açısından stratejik bir dönüm noktasıdır. CPR sınıflandırması, kablonun yangın sırasındaki davranışını ölçer ve onu Aca, B1ca, B2ca, Cca, Dca, Eca, Fca gibi yangın sınıflarına ayırmaktadır. Bu sınıflar aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir. (European Commission, 2011).

Çizelge 1. Kabloların Yangın Dayanımına Göre Sınıflandırılması

Sınıf	Yangına Direnç	Tipik Kullanım Alanı
Aca	Çok yüksek	Özel yapılar (hastane, tünel vb.)
B1ca	Yüksek	Yangına hassas alanlar
B2ca	Orta-Yüksek	Ofisler, okullar
Cca	Orta	Konut ve ticari alanlar
Dca	Düşük-Orta	Endüstriyel alanlar
Eca	Düşük	Asgari gereklilik
Fca	Test edilememiş veya belirsiz	Uygun olmayan

Bu sınıflar hesaplanırken insan, altyapı, yazılım ve donanım gibi nedenlerle veri kayıpları ortaya çıkabilmektedir. Rastgele şekilde oluşan bu kayıp verilerin tahmini için CPR test cihazı ile kayıt altına alınmış eksik veriye sahip veri seti ile çeşitli ML ve DL teknikleri kullanılmıştır. Bu bölümde bu bilgilere yer verilecektir.

2.1. Veri Seti Hakkında Genel Bilgiler

Bu çalışmada, kablo sektöründe yangına dayanım sınıflandırmasına yönelik analizler gerçekleştirmek amacıyla deneysel olarak oluşturulmuş bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti, CPR (Construction Products Regulation) kapsamında yer alan yangın performansına ilişkin sınıflandırma etiketleri ile çeşitli termal, optik ve fiziksel test sonuçlarını içermektedir. Her bir gözlem, belirli bir kablo ürününe ait test sonuçlarını temsil etmektedir. Veri setinde yer alan değişkenler aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

Çizelge 2. Kabloların Yangın Dayanımına Göre Sınıflandırılması

Değişken Adı	**Açıklama**	**Değişken Adı**
Potential Classification	CPR yönetmeliğine göre belirlenen yangına dayanım sınıfı.	Potential Classification
Damage Length	Deney sonrası kablo yüzeyinde gözlenen zarar uzunluğu (metre).	Damage Length
Peak HRRav	Ortalama tepe ısı salım hızı (Heat Release Rate, kW).	Peak HRRav
THR1200	1200. saniye sonundaki toplam ısı salımı (Total Heat Release, MJ).	THR1200
FIGRA	Yangın gelişim oranı (Fire Growth Rate Index, W/s).	FIGRA
Peak SPRav	Ortalama tepe duman salım oranı (Smoke Production Rate, m^2/s).	Peak SPRav
TSP1200	1200. saniye sonundaki toplam duman üretimi (Total Smoke Production, m^2).	TSP1200

Potential Classification değişkeni adlandırma ölçeğine sahip kategorik bir değişken olup diğer tüm değişkenler oran ölçeği ile belirlenmiş sürekli değişkenlerdir. Çalışmamızda firma tarafından 16 aylık periyotta gerçekleştirilmiş 64 adet gözlem bulunmaktadır. Buna göre gözlemlerden 53 tanesi kullanılan yöntemler için eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Geriye kalan 11 adet gözlemde ise rastgele olarak kayıp veriler oluşturulmuştur.

2.2. Kayıp Veri Yönetimi Kullanılan Yöntemler

Bu kısımda, eksik verilerin tamamlanması adına veri üretiminin gerçekleştirilmesi amacıyla uygulanan makine öğrenmesi ve derin öğrenme tabanlı modelleme yaklaşımları ele alınarak çalışma kapsamında geliştirilen modellerin başarım düzeyleri; Ortalama Kare Hata (MSE), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Belirleme Katsayısı (R^2) gibi genel kabul görmüş hata ölçütleri üzerinden kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

Çalışmada kullanılan modeller arasında, literatürde güçlü genelleme yetenekleriyle öne çıkan Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost ve GAN modelleri kullanılmıştır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen analizler, hem eksik veri sorunlarının etkili biçimde giderilmesini hem de mevcut

veri yapısına benzer özellikler taşıyan sahte verilerin üretimini amaçlayan bir çerçevede gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, model başarımları arasındaki farklılıkları açık biçimde ortaya koymakta ve çalışmanın sonraki aşamalarında kullanılacak en uygun modelin seçilmesi açısından temel bir dayanak oluşturmaktadır.

- **Random Forest**

Random Forest, Breiman (2001) tarafından geliştirilen ve çok sayıda karar ağacının toplu çıktısına dayanan bir topluluk öğrenme yöntemidir. Her bir karar ağacı, eğitim verisinin rastgele bir alt kümesi üzerinde oluşturulur ve her düğümde rastgele bir değişken alt kümesi değerlendirilir. Bu yapı, bireysel ağaçlardaki aşırı uyum riskini azaltırken, yüksek genelleme performansı sunar. Regresyon problemlerinde tahminler, tüm ağaçlardan elde edilen çıktının ortalaması alınarak gerçekleştirilir. Random Forest, özellikle yüksek boyutlu verilerde, değişkenler arası ilişki karmaşık olduğunda veya eksik veri söz konusu olduğunda güçlü bir alternatif sunmaktadır. Bununla birlikte, modelin açıklanma gücü sınırlıdır ve performansı büyük ölçüde seçilen hiper parametrelerin uygunluğuna bağlıdır.

- **Gradient Boosting**

Gradient Boosting, temel olarak hataların aşamalı olarak azaltılması prensibine dayanan güçlü bir art arda öğrenme yöntemidir (Friedman, 2001). Model, her iterasyonda önceki aşamalarda yapılan hataları minimize edecek şekilde yeni bir zayıf öğrenici (çoğunlukla karar ağacı) ekler. Bu öğreniciler, gradyan inişi mantığıyla hataları azaltmaya odaklanır. Her yeni model, önceki modelin hatalarından öğrenerek tahmin performansını artırır. Bu yapı, özellikle öngörü gücü yüksek ve karmaşık veri yapılarına uyum sağlayabilen modellerin oluşturulmasına olanak tanır. Ancak öğrenme oranı, ağaç derinliği ve iterasyon sayısı gibi hiperparametrelerin dikkatli biçimde optimize edilmesi gerekir; aksi halde model aşırı uyuma eğilim gösterebilir.

- **XGBoost**

XGBoost (Extreme Gradient Boosting), Chen ve Guestrin (2016) tarafından geliştirilen, Gradient Boosting yönteminin optimize edilmiş ve paralel çalışmaya uygun hâlidir. Model, karar ağaçları üzerinde gradient boosting algoritmasını temel alarak çalışır; ancak klasik yönteme kıyasla hesaplama verimliliği, hız ve genelleme gücü açısından önemli iyileştirmeler sunar. XGBoost, hem doğrusal hem de doğrusal olmayan ilişkilere karşı oldukça esnektir ve eksik verileri doğal olarak işleyebilir. Ayrıca modelin düzenlileştirme terimlerini içermesi, aşırı öğrenmeyi önlemede etkili bir mekanizma sağlar. Kapsamlı hiper parametre ayarlamalarına imkân tanıyan yapısıyla, özellikle büyük ve gürültülü veri kümelerinde üstün performans göstermektedir. Günümüzde çok sayıda makine öğrenmesi yarışmasında tercih edilen öncü algoritmalardan biridir.

- **Generative Adversarial Network (GAN)**

Generative Adversarial Networks (GANs), Goodfellow ve arkadaşları (2014) tarafından önerilen, gerçekçi veriler üretmeye yönelik derin öğrenme tabanlı bir yaklaşımdır. GAN mimarisi, karşıt amaçlara sahip üretici (generator) ve ayırt edici (discriminator) adlı iki sinir ağı içermektedir. Üretici ağ, eğitim verisine benzer sahte örnekler üretmeye çalışırken; ayırt edici ağ, bu sahte örnekleri gerçek verilerden ayırmaya çalışır. İki ağ arasındaki bu etkileşim, üretici ağın zamanla giderek daha gerçekçi veri üretmesini sağlar. GAN'lar görüntü oluşturma, eksik veri tamamlama ve sahte veri üretimi gibi birçok uygulama alanında etkin biçimde kullanılmaktadır. Ancak eğitim süreci oldukça hassastır ve dengesiz optimizasyonlar durumunda modelin çökmesine yol açabilir. Bu nedenle GAN'ların istikrarlı eğitimi için dikkatli hiper parametre ayarları ve mimari tasarım gereklidir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, eksik veri tamamlaması amacıyla uygulanan çeşitli makine öğrenmesi ve derin öğrenme modellerinin başarı düzeyleri, MSE (Ortalama Kare Hata), MAE (Ortalama Mutlak Hata) ve R^2 (Belirleme Katsayısı) gibi yaygın performans ölçütleri kullanılarak kıyaslanmıştır. Modellerin elde ettiği değerler Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 3. Modellerin Performans Metrikleri

Model	**MSE**	**MAE**	**R^2**
XGBoost	0.00002217	0.0025	0.999999
Gradient Boosting	5.2352	1.1428	0.99755
Random Forest	20.4321	1.6658	0.989318
GAN (Üretici Ağ)	0.0189	0.0711	0.4911

Çizelgeye göre, XGBoost modeli 0.00002217 gibi son derece düşük bir MSE değeriyle öne çıkmış ve 0.0025'lik MAE değeriyle en hassas tahminleri yapabilen algoritma olmuştur. Aynı zamanda, 0.9999'luk R^2 değeriyle değişkenler arası ilişkiyi neredeyse mükemmel düzeyde yansıttığı gözlemlenmiştir.

Gradient Boosting algoritması ise MSE (5.2352) ve MAE (1.1428) açısından XGBoost'un gerisinde kalmasına rağmen, 0.9976'lık yüksek R^2 değeriyle dikkate değer bir doğruluk sergilemiştir. Random Forest modeli, MSE (20.4321) ve MAE (1.6658) açısından daha zayıf sonuçlar üretmiş ve 0.9893'lük R^2 değeriyle nispeten daha az değişim açıklama düzeyine sahip olmuştur.

Derin öğrenme tabanlı GAN modeli, sahte veri üretiminde farklı bir değerlendirme yapısı sunmaktadır. Üretici ağ tarafından oluşturulan veriler için MSE 0.0189, MAE 0.0711 ve R^2 0.4911 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, GAN'ın ürettiği verilerin gerçek verilere belirli bir yakınlık gösterdiğini; ancak açıklama gücünün orta düzeyde kaldığını göstermektedir.

Sonuç olarak XGBoost modelinin uygulanan yöntemler arasında kayıp veri ataması performansı olarak en başarılı yöntem olduğu görülmekle beraber GAN modelinin hiper parametre optimizasyonu ile tekrar hesaplanması gerekebilmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, eksik verilerin sınıflandırma performansı üzerindeki etkilerini azaltmak ve yapay veri üretimi yoluyla veri setlerinin zenginleştirilmesini sağlamak amacıyla çeşitli makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri test edilmiştir. Kayıp verilerin ihmal edilmesi, model tahminlerinde yanlılık oluşmasına ve genellenebilirliğin düşmesine neden olabilmektedir (Little & Rubin, 2019). Bu doğrultuda, yalnızca verinin miktarının değil, kalitesinin de artırılmasını hedefleyen bütünsel bir yaklaşım benimsenmiştir.

Özellikle kablo sektöründe yürütülen bu çalışmayla, dijital dönüşüm sürecine yapay zekâ destekli bir çözüm önerisi sunulmuştur. Hem eksik verilerin anlamlı şekilde tamamlanması hem de gerçek verilere benzer sahte verilerin üretilebilmesi, ileri seviye makine öğrenmesi uygulamaları açısından önemli bir yenilik potansiyeli taşımaktadır. Bu bağlamda, bu çalışmanın eksik yönlerinin kapatılması adına gelecek çalışmalarda aşağıdaki geliştirmelerin yapılması öngörülmektedir.

- Farklı Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin Entegrasyonu

Bu çalışmada temel olarak Random Forest, Gradient Boosting ve XGBoost gibi karar ağacı tabanlı algoritmalar kullanılmıştır. Ancak daha farklı yaklaşımlara sahip yöntemlerin (örneğin, destek vektör makineleri, LightGBM, CatBoost veya bayesyen modeller) entegrasyonu, daha geniş bir karşılaştırmalı analiz yapılmasına olanak sağlayacaktır. (Saar-Tsechansky & Provost, 2007). Böylece farklı veri türlerine karşı hangi modelin daha kararlı ve genellenebilir sonuçlar verdiği değerlendirilebilir.

- GAN Mimarisi ve GAIN Modelinin Geliştirilmesi

Generative Adversarial Network (GAN) mimarisinin, eksik verileri tamamlamak için geliştirilmiş özel bir versiyonu olan GAIN (Generative Adversarial Imputation Nets) modeli hem eksik verilerin giderilmesi hem de gerçekçi veri üretimi için ileri düzey bir potansiyel sunmaktadır. (Yoon, Jordon, & van der Schaar, 2018). Bu doğrultuda GAN'ın hiper parametrelerinin ve öğrenme sürecinin optimize edilmesiyle, veri üretim kalitesinin artırılması hedeflenmektedir.

- Oto kodlayıcı (Autoencoder) Tabanlı Yöntemlerin Uygulanması

Eksik verilerin tahmini için kullanılabilecek bir diğer derin öğrenme yöntemi de oto kodlayıcılardır. (Gondara & Wang, 2018). Verinin gizli temsiline ulaşmayı hedefleyen bu yapılar, özellikle yüksek boyutlu veri setlerinde başarılı sonuçlar sunabilmektedir. Oto kodlayıcıların klasik GAN mimarileriyle entegre edilmesiyle hibrit modeller oluşturulabilir.

- Ensemble (Birleşik) Modelleme Yaklaşımları

Birden fazla modelin çıktısını bir araya getirerek daha yüksek genel doğruluk elde etmeyi amaçlayan ensemble yöntemler (örneğin, model ağırlıklı voting, stacking veya boosting yaklaşımları), bireysel modellerin sınırlılıklarını ortadan kaldırabilmektedir. Bu bağlamda, çalışmada yer alan tüm modellerin sonuçlarının sistematik bir şekilde entegre edilmesiyle daha sağlam tahmin sistemlerinin geliştirilmesi öngörülmektedir. (Dietterich, 2000).

- Gerçek Saha Verileriyle Genişletilmiş Testler

Mevcut çalışma, az sayıda gözlemden oluşan bir veri seti üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, elde edilen bulguların geniş çaplı gerçek saha koşullarında da test edilmesi önem arz etmektedir. Kablo üretim ve kalite kontrol süreçlerinden elde edilecek geniş çaplı saha verileri, geliştirilen sistemlerin endüstriyel uygulanabilirliğini değerlendirmek açısından kritik öneme sahip olabilmektedir.

- Kayıp Veri Simülasyonu ve İstatistiksel Anlamlılık Testleri

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı oranlarda ve mekanizmalarda kayıp veri simülasyonları oluşturularak modellerin performansları farklı senaryolar altında test edilebilir (Rubin, 1976). Bunun devamında da bu model başarımlarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığının tespit edilmesi için uygun test yöntemleri kullanılabilir (Demšar, 2006).

.

KAYNAKÇA

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Chen, T., Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 785–794). ACM. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Demšar, J. (2006). Statistical comparisons of classifiers over multiple data sets. Journal of Machine Learning Research, 7, 1–30. https://www.jmlr.org/papers/volume7/demsar06a/demsar06a.pdf

Dietterich, T. G. (2000). Ensemble methods in machine learning. In International Workshop on Multiple Classifier Systems (pp. 1–15). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-45014-9_1

Friedman, J. H. (2001). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. Annals of Statistics, 29(5), 1189–1232. https://doi.org/10.1214/aos/1013203451

Gondara, L., Wang, K. (2018). MIDA: Multiple imputation using denoising autoencoders. In Proceedings of the 2018 International Conference on Machine Learning (ICML). https://arxiv.org/abs/1705.02737

Goodfellow, I., Pouget-Abadie, J., Mirza, M., Xu, B., Warde-Farley, D., Ozair, S., Courville, A., & Bengio, Y. (2014). Generative adversarial nets. In Advances in Neural Information Processing Systems (Vol. 27). https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2014/file/5ca3e9b122f61f8f06494c97b1afccf3-Paper.pdf

Little, R. J. A., Rubin, D. B. (2019). Statistical analysis with missing data (3rd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119482260

Rubin, D. B. (1976). Inference and missing data. Biometrika, 63(3), 581–592. https://doi.org/10.1093/biomet/63.3.581

Saar-Tsechansky, M., Provost, F. (2007). Handling missing values when applying classification models. Journal of Machine Learning Research, 8, 1625–1657. https://jmlr.csail.mit.edu/papers/volume8/saar-tsechansky07a/saar-tsechansky07a.pdf

Yoon, J., Jordon, J., van der Schaar, M. (2018). GAIN: Missing data imputation using generative adversarial nets. In Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning (ICML), 5675–5684. https://proceedings.mlr.press/v80/yoon18a.html

https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2011/305/oj

(Erişim tarihi: 14.05.2015)

YAPAY ZEKA DESTEKLİ AKILLI BAĞ SULAMA PROJESİ

Prof. Dr. Mehmet Hilal Özcanhan
Dokuz Eylül Üniversitesi
hozcanhan@cs.deu.edu.tr
-0000-0002-5619-6722
Öğrenci Vildan Çolak
Dokuz Eylül Üniversitesi
vilcolakk@gmail.com
- 0009-0003-9465-4215
Öğrenci Deniz Katayıfçı
Dokuz Eylül Üniversitesi
denizkadalol@gmail.com
-0009-0002-6559-0454
Öğrenci Tuğrul Demirözer
Dokuz Eylül Üniversitesi
tugrul.demirozer@ogr.deu.edu.tr
- 0009-0004-4751-6116
Öğrenci Mustafa Can Akıncı
Dokuz Eylül Üniversitesi
mustafacanakinci21@gmail.com
-0009-0003-8029-1556

ÖZET

Bu proje, bağlarda sürdürülebilir sulama yönetimini sağlamak amacıyla Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisi ve bulut tabanlı yapay zekâ (AI) çözümlerini bir araya getiren yenilikçi bir sistemdir. Tarımsal verimliliği artırmak ve su kaynaklarının daha bilinçli kullanılmasını sağlamak adına geliştirilen sistemde, bağın farklı noktalarına yerleştirilen IoT sensörleri aracılığıyla toprak nemi, ortam sıcaklığı, hava nemi ve ışık şiddeti gibi kritik çevresel veriler düzenli aralıklarla

toplanmaktadır. Bu veriler, internet üzerinden gerçek zamanlı olarak bulut platformuna aktarılır. Bulutta çalışan yapay zekâ algoritmaları ise gelen bu verileri analiz ederek sulamanın ne zaman ve ne kadar yapılması gerektiğine dair öngörülerde bulunur.

Sistemin önemli bir bileşeni olan Dijital İkiz uygulaması, bağdaki sulama sürecinin sanal bir modelini oluşturarak hem simülasyon hem de uzaktan takip imkânı sunar. Bu sayede çiftçiler, fiziksel olarak arazide bulunmadan da sulama işlemlerini optimize edebilir ve karar alma süreçlerini daha verimli bir şekilde yönetebilir. Proje, sadece su tasarrufu sağlamakla kalmaz; aynı zamanda ürün kalitesinin artırılması, israfın azaltılması ve insan gücüne duyulan ihtiyacın minimuma indirilmesi gibi pek çok faydayı da beraberinde getirir. Uzun vadede, iklim değişikliği ve kuraklık gibi tarım sektörünü tehdit eden sorunlara karşı önemli bir direnç kazandırması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Nesnelerin İnterneti (IoT) , Akıllı sulama

1. GİRİŞ

Tarım, dünya nüfusunun artması ve iklim değişikliği gibi küresel sorunlar nedeniyle önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Bu bağlamda su kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir yönetimi, modern tarım uygulamalarının en kritik unsurlarından biri haline gelmiştir. Bağ alanları gibi özel sulama ihtiyaçları olan tarım alanlarında, gereğinden fazla ya da yetersiz sulama; ürün kalitesinin düşmesine, kaynak israfına ve maliyet artışına yol açmaktadır. Bu sorunlara çözüm getirmek amacıyla geliştirilen bu projede, IoT tabanlı sensör sistemleri ile yapay zekâ algoritmaları entegre edilerek akıllı bir sulama yönetim sistemi oluşturulmuştur.

2. 2. YÖNTEM ve UYGULAMA

2.1 Sistem Mimarisi

Geliştirilen sistem; sensör düğümleri, iletişim modülleri, bir gateway ve bulut tabanlı bir analiz altyapısından oluşmaktadır. Toprak nemi (YL-69), sıcaklık ve hava nemi (DHT11), ışık yoğunluğu

(LDR), yaprak rengi (GY31) ve su akışı (YF-S401) gibi veriler Arduino Uno tarafından toplanmakta ve LoRa haberleşme modülü ile Raspberry Pi 3B+'ye aktarılmaktadır. Raspberry Pi, gelen verileri analiz edilmek üzere Flask tabanlı arka uca ve ThingSpeak bulut platformuna iletmektedir.

2.2 Veri Toplama ve Ön İşleme

Gerçek zamanlı veriler, 10 dakikalık aralıklarla toplanmakta ve bulut ortamında depolanmaktadır. Verilerin kullanılabilirliğini artırmak amacıyla eksik veriler KNN imputation yöntemiyle tamamlanmış, dengesiz veri yapıları ise SMOTE ile dengeleştirilmiştir. Ayrıca, tüm sayısal veriler StandardScaler kullanılarak normalize edilmiştir. Bu sayede, makine öğrenmesi modellerinin performansı optimize edilmiştir.

2.3 Makine Öğrenmesi Modelleri

Veri seti, iki temel probleme çözüm üretmek amacıyla analiz edilmiştir: (1) Günlük sulama gereksinimi kararları ve (2) Aylık toplam su tahminleri. Günlük kararlar için XGBoost modeli; aylık tahminler içinse LightGBM algoritması uygulanmıştır. XGBoost modeli, kısa vadeli eğilimleri tespit ederken; LightGBM daha geniş zaman ölçekli kaynak planlaması yapılmasına imkân tanımaktadır. Başlangıçta Random Forest modeli ile karşılaştırma yapılarak en yüksek başarı oranını sağlayan algoritmalar tercih edilmiştir.

2.4 Dijital İkiz ve Geri Besleme Mekanizması

Dijital İkiz, fiziksel sistemin sanal bir kopyası olarak oluşturulmuştur. Yapay zekâdan gelen tahmin sonuçları önce bu sanal model üzerinde test edilmekte, ardından sahadaki sulama sistemine uygulanmaktadır. Sistem, sensörlerden alınan yeni verilerle kendini sürekli güncelleyerek bir geri besleme döngüsü oluşturmaktadır. Bu sayede, çevresel değişimlere anında adapte olan dinamik bir kontrol sistemi elde edilmiştir.

2.5 Kullanılan Yazılımlar ve Arayüz

Arka uç kısmı Flask ile geliştirilmiş olup, RESTful API'ler aracılığıyla frontend'e veri aktarımı

sağlanmaktadır. Kullanıcı arayüzü ise Angular 18 framework'ü ile geliştirilmiştir. Arayüzde günlük sensör verileri, tahmini su miktarı, sulama kararı ve tarihsel grafikler sunulmaktadır

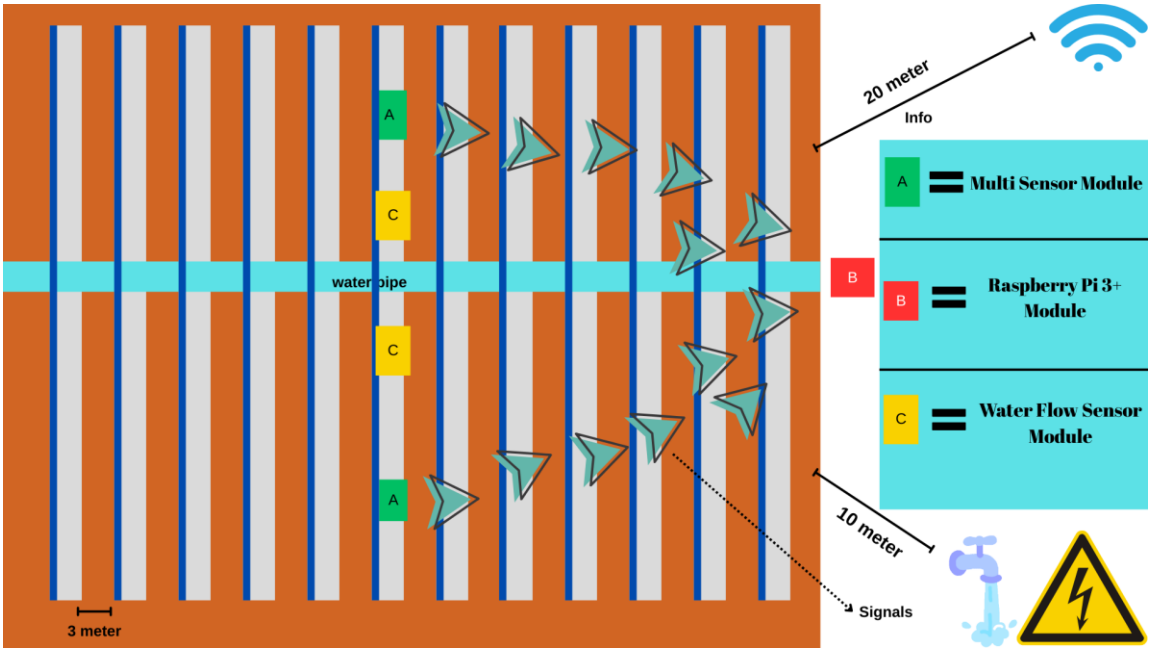
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan ilk saha testlerinde, sistemin veri aktarım doğruluğu %95'in üzerinde gerçekleşmiş; sulama gerekliliği tahmininde XGBoost modeli %87 doğruluk oranına ulaşmıştır. Dijital İkiz üzerinde yapılan simülasyonlar ile sahada uygulanan stratejiler yüksek oranda örtüşmektedir. Ortalama %30 oranında su tasarrufu sağlanmış, buna karşın ürün verimliliğinde %20'ye yakın bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca sistem, kullanıcı dostu arayüzü sayesinde çiftçiler tarafından kolayca kullanılabilmektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu proje, yapay zekâ ve IoT teknolojilerini tarımsal üretime entegre eden yenilikçi bir çözüm sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, bu tür sistemlerin sürdürülebilir tarım uygulamaları için büyük bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Gelecekte, sistemin daha büyük alanlarda uygulanabilirliğini test etmek, daha fazla sensörle entegre çalışmasını sağlamak ve farklı ürün türleri için özelleştirilmiş tahmin modelleri geliştirmek amaçlanmaktadır.

.



Görsel 1. Akıllı Sulama Sisteminin Arazi Yerleşim Planı ve Bileşen İletişim Diyagramı

KAYNAKÇA

1. Ruchi, Wasson, V., Muskan, & Gargi. (2023). IoT-Based Smart Control System for Monitoring Agriculture. ICACCTech.
2. Murdan, A. P., & Muthoo, N. (2024). Integrating IoT with LoRa Technology. SESAI.
3. Pourghebleh, B., & Navimipour, N. J. (2017). Data aggregation mechanisms. JNCA.
4. Jist. (2023). Akıllı Tarımda Yapay Zeka. Dergipark.
5. Tarmak. (2023). AI ve IoT Sulama Sistemleri. Dergipark.
6. Dhineshkumar, K. et al. (2025). WSN and AI for Agriculture. IJBES.
7. Zhang, H., Wang, J., & Liu, X. (2019). AI-supported irrigation models. Sustainable Agriculture.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Öğrenci Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenmiştir. Projenin gerçekleştirilmesinde katkı sunan danışman öğretim üyelerine ve sahada teknik destek sağlayan ziraat mühendislerine teşekkür ederiz.

FABRİKA ÇALIŞANLARININ İŞ SAĞLIĞI OKURYAZARLIĞI DÜZEYLERİ İLE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YETERLİLİK ALGILARI ARASINDAKİ İLİŞKİ

Öğrenci Hatem ALRAGAB
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü
b200603553@subu.edu.tr, 0009-0008-7643-8101
Öğrenci Elif YILDIRIM
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Hemşirelik Esasları Anabilim Dalı
24503005002@subu.edu.tr, 0009-0009-7734-1456
Öğrenci Merve KOTAN
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü
b20063019@subu.edu.tr, 0009-0000-7119-228X
Arş. Gör. Esma AKGÜL
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü
esmaakgul@subu.edu.tr, 0000-0002-2202-2919

ÖZET

İş kazaları ve meslek hastalıkları, bireyleri, ailelerini ve toplumu olumsuz etkilemenin yanı sıra iş gücü kaybına neden olarak iş yerlerine ve genel anlamda ülke ekonomisine zarar vermektedir. Türkiye'de iş kazası oranlarının Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla yüksek olmasına rağmen, iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları istenilen düzeye ulaşamamıştır. Bu durum, Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliğine verilen önemin artırılması gerektiğini ortaya koymaktadır. İşe bağlı kazaları ve hastalıkları önlemeye yönelik girişimler iş sağlığı ve güvenliği kavramını oluşturur. Çalışanların iş yerinde sağlıklı kalabilmeleri için sağlık okuryazarlık düzeylerinin yeterli olması gerekmektedir. Bu çalışma, fabrika çalışanlarının iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri ile iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algıları arasındaki ilişkiyi incelemeyi amaçlamaktadır. Tanımlayıcı-ilişkisel türdeki araştırma, Mart-Haziran 2024 tarihleri arasında Sakarya ili Hendek ilçesinde faaliyet gösteren bir fabrikada gerçekleştirilmiştir (n=52). Veriler; Çalışan Tanılama Formu, İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği ve İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği ile toplanmıştır. Analizlerde SPSS 26 programı kullanılmış, tanımlayıcı istatistiklerin yanı sıra Pearson korelasyon testi uygulanmıştır ($p<0.05$). Katılımcıların sağlık okuryazarlık düzeyleri yeterli, iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algıları ise yüksek düzeye oldukça yakındır. İki değişken arasında orta düzeyde pozitif yönlü anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu doğrultuda, iş sağlığı okuryazarlığını artırmaya yönelik eğitim

programlarının planlanması, halk sağlığı/iş sağlığı hemşirelerine önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İş Sağlığı Okuryazarlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği, İş Sağlığı Hemşireliği.

1. GİRİŞ

Sanayi Devrimi ile birlikte fabrikalar kurulmuş ve insanlar bu fabrikalarda işçi olarak çalışmaya başlamıştır. İşle ilgili ortaya çıkan bu yeni alan, beraberinde işe bağlı riskleri de getirmiştir. Bu riskler önlenmediğinde, iş kazaları ya da meslek hastalıkları meydana gelebilmektedir. Her iki durum da çalışan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. İş kazası; iş yerinde ya da işi yaparken meydana gelen, ölüm ya da engellilikle sonuçlanabilen olaylar olarak tanımlanır. Meslek hastalığı ise çalışanın yaptığı işin niteliği nedeniyle zamanla gelişen hastalıklardır. Bu iki durum yalnızca işçinin zarar görmesiyle sınırlı kalmayıp, üretimin aksamasına, iş yerinin verimliliğinin düşmesine ve büyük ölçüde ülke ekonomisinin olumsuz etkilenmesine de neden olabilmektedir (Özdemir & Serin, 2022; Çimen & Çimen, 2020).

İş yükünün fazlalığı ve iş ile çalışan arasındaki uyumsuzluk, iş kazalarıyla sonuçlanabilirken; iş ortamındaki gürültü, toz, stres gibi çeşitli etmenler ise fiziksel ve ruhsal meslek hastalıklarına yol açmaktadır (Mavi, 2021). Türkiye'nin iş kazası oranı, Avrupa Birliği ülkelerine kıyasla daha yüksektir; ancak ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) hizmetleri henüz istenilen düzeye ulaşamamıştır (Şen vd., 2018). Ülkemizde yapılan bir çalışmada, son üç yıl içinde en az bir kez iş kazası geçirdiğini bildirenlerin oranı %88.3; meslek hastalığı tanısı alanların oranı ise %70.9 olarak saptanmıştır (Göksü vd., 2020). Bir başka çalışmada ise işçilerin büyük çoğunluğunun (%73) maske kullanmadığı ve bu nedenle solunum sistemi hastalıklarının geliştiği belirlenmiştir (Temel vd., 2021).

İşe bağlı kazaları ve hastalıkları önlemeye yönelik girişimler, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kavramını oluşturmaktadır. İSG'nin temel amacı; iş yerini çalışan sağlığı açısından güvenli hale getirerek olası iş kazaları ve meslek hastalıklarını önlemektir. Bu sayede hem çalışanlar korunmakta hem de iş verimliliği artmaktadır (Özdemir & Serin, 2022; Çimen & Çimen, 2020). İş yerinde çalışanların sağlıklı kalabilmeleri için sağlık okuryazarlık düzeylerinin yüksek olması gerekmektedir. Sağlık okuryazarlık düzeyi; bireylerin koruyucu sağlık davranışlarında bulunmaları, acil servis başvurularının sıklığı ve genel sağlık durumlarının sürdürülebilirliği ile ilişkilidir (Dirim, 2021).

Sağlık okuryazarlığı, bireyin sağlığını korumak ve geliştirmek amacıyla sağlıkla ilgili doğru bilgiye ulaşma, bu bilgiyi anlama ve etkin bir şekilde kullanma becerisi olarak tanımlanır. Sanayi alanındaki iş fırsatlarının artması ve buna bağlı olarak çalışan sayısının çoğalması, iş sağlığı okuryazarlığı kavramını sağlık okuryazarlığının bir alt bileşeni olarak gündeme getirmiştir. Bireylerin iş ortamlarında sağlıklı ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için iş sağlığı okuryazarlık düzeylerinin artırılması önemlidir. Bu bağlamda, çalışanların İSG konusunda bilgilendirilmesi gerekmektedir. İSG hakkında bilgi sahibi olan çalışanlar, edindikleri bilgileri güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturmak amacıyla kullanabileceklerdir (Uskun vd., 2022). İş ortamının

güvenli hale gelmesi, çalışanların sağlıklı ve güvenli davranışları benimseyerek sürdürmesiyle mümkündür. Bu davranışların alışkanlık haline gelmesi için İSG eğitimlerinin düzenli olarak verilmesi önerilmektedir. Böylece çalışanlar, işe bağlı kazalardan ve meslek hastalıklarından korunma yeterliliği kazanabileceklerdir (Yağcı vd., 2022).

İş sağlığı ve güvenliği alanında hemşirelere önemli sorumluluklar düşmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre, iş sağlığı hemşireleri işe bağlı kazaları ve yaralanmaları önlemede aktif rol üstlenmektedir. Benzer şekilde, Türkiye'de yayımlanan "Hemşirelik Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik"te de iş sağlığı hemşiresi tanımlanmış; bu hemşirelerin iş kazaları ve meslek hastalıklarını önlemeye yönelik görevleri olduğu belirtilmiştir. Hemşireler, iş sağlığına ilişkin görevlerini yerine getirirken sahip oldukları sağlık eğitimcisi rolleri doğrultusunda çalışanlara İSG eğitimleri verebilirler (Yeşiltepe & Karadağ, 2019). Ancak bu sürecin etkili olabilmesi için çalışanların İSG okuryazarlık düzeyi ile İSG yeterlilik algısı arasındaki ilişkinin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışmada, fabrika çalışanlarının İSG okuryazarlık düzeyleri ile İSG yeterlilik algıları arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmadan elde edilecek sonuçlar doğrultusunda hemşireler, çalışanların İSG yeterliliğini artırmaya yönelik olarak iş sağlığı okuryazarlığını geliştirmeye odaklı eğitim programları tasarlayabileceklerdir.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Tipi

Bu araştırma tanımlayıcı-ilişkisel türde yapılmıştır.

2.2. Araştırma Soruları:

- Fabrika çalışanlarının iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri nedir?
- Fabrika çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algıları nasıldır?
- Fabrika çalışanlarının iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri ile iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algıları arasında ilişki var mıdır?

2.3. Araştırma Yeri ve Zamanı

Araştırma, Mart-Haziran 2024 tarihleri arasında Sakarya ilinin Hendek ilçesinde üretim faaliyetlerini sürdüren bir fabrikada yapılmıştır.

2.4. Araştırma Evren ve Örneklemi:

Fabrikadaki tüm çalışanlar araştırmanın evrenini oluşturmuştur (N=52). Örnekleme yöntemine gidilmeyerek araştırmaya katılmayı kabul eden tüm çalışanlar araştırmaya dahil edilmiştir. Çalışma 52 kişi ile tamamlanmış olup evrenin tamamına ulaşılmıştır.

2.5. Araştırmanın Bağımlı Değişkeni

Fabrika çalışanlarının iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri ve iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algıları

araştırmanın bağımlı değişkenleridir.

2.6. Araştırmanın Bağımsız Değişkeni

Fabrika çalışanlarının sosyo-demografik özellikleri araştırmanın bağımsız değişkenleridir.

2.7. Araştırmaya Dahil Edilme Kriterleri

Araştırmaya katılmaya gönüllü olmak araştırmaya dahil edilme kriteridir.

2.8. Araştırmadan Dışlanma Kriterleri

Araştırmanın veri toplama formlarını eksik doldurmak, Türkçe bilmemek ve iletişim engelinin bulunması araştırmadan dışlanma kriterleridir.

2.9. Veri Toplama Araçları

Araştırmanın verileri fabrikada, yüz yüze ve öz bildirime dayalı olarak toplanmıştır. Verilerin toplanmasında; Çalışan Tanılama Formu, İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği ve İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği kullanılmıştır.

2.9.1. Çalışan Tanılama Formu

Araştırmacılar tarafından oluşturulmuştur. Çalışanları tanılamak amacıyla tanımlayıcı sorular yer almaktadır.

2.9.2. İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği

Orijinalini Suthakorn ve arkadaşlarının 2020 yılında geliştirdiği ölçeğin Türkçe geçerlik ve güvenirlik çalışmasını Uskun vd., 2022 yılında yapmışlardır. Ölçek toplam 38 madde ve dört alt boyuttan oluşmaktadır. Ölçek, “en az uygun” için 1 puan, “uygun” için 2 puan ve “en uygun” için 3 puan ile cevaplanmaktadır. Ölçekten alınabilecek en düşük puan 38 ve en yüksek puan 114’tür. Puan yükseldikçe iş sağlığı okuryazarlık düzeyi de yükselmektedir. Ölçeğin Cronbach Alpha değerleri şöyledir: Tüm ölçek için Cronbach alfa katsayısı 0.93, İSG bilgilerine erişebilme yeteneği alt boyutu için 0.80, İSG bilgilerini anlama alt boyutu için 0.90, İSG bilgilerinin değerlendirilmesi için 0.90, İSG bilgilerini kullanma ve iletme için 0.83. (Suthakorn vd., 2020; Uskun vd., 2022). Çalışmamızda Tüm ölçek için Cronbach alfa katsayısı 0.93, İSG bilgilerine erişebilme yeteneği alt boyutu için 0.82, İSG bilgilerini anlama alt boyutu için 0.86, İSG bilgilerinin değerlendirilmesi için 0.80 ve İSG bilgilerini kullanma ve iletme için 0.83 olarak hesaplanmıştır.

2.9.3. İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği

Bu ölçek Kocaay tarafından 2020 yılında geliştirilmiştir. Ölçek toplam 29 maddeden oluşmaktadır. Beşli likert tipteki ölçek maddeleri “hiç” 1 puan, “az” 2 puan, “kısmen” 3 puan, “oldukça” 4 puan ve “çok” 5 puan olarak cevaplanmaktadır. Ölçekten en az 29 puan en fazla 145 puan alınmaktadır. Ölçek tek boyuttan oluşmakta ve değerlendirmede toplam puan üzerinden gidilmektedir. Ölçek toplum puanı arttıkça yeterlik algısı da yükselmektedir. Ölçeğin Cronbach Alpha değeri 0.98’dir (Kocaay, 2020). Çalışmamızda Cronbach Alpha değeri 0.95 olarak hesaplanmıştır.

2.10. Araştırmanın Etik Yönü

Araştırmanın yapılabilmesi için bir devlet üniversitesinin etik kurulundan etik kurul izni (42/12 sayı ve 15.03.2024 tarihli), araştırmanın yapılacağı fabrikadan kurum izni ve araştırmanın yapılacağı fabrika çalışanlarından araştırmaya katılım izni alınmıştır.

2.11. Verilerin Değerlendirilmesi

Veri girişi bilgisayar ortamına yapıldıktan sonra SPSS 26 paket programı ile veri analizi yapılmıştır. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler (ortalama ve yüzde) kullanılmıştır. İki ölçek arası ilişkisel analiz için verilerin dağılım özelliği Kolmogorov Smirnov, Q-Q plot ve Skewnwss- Kurtosis değerleri ile incelenmiştir. Her iki ölçek toplam puanının normal dağılım özelliği göstermesi nedeniyle Pearson Korelasyon testi kullanılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edilmiştir.

2.12. Araştırmanın Sınırlılıkları

Araştırmanın tek bir fabrikada yapılması ve verilerin öz bildirme dayalı olarak toplanması bu araştırmanın sınırlılıklarını oluşturmaktadır.

3. BULGULAR

Çizelge 3.1 Çalışanların tanıtıcı özellikleri (n= 52)

Değişkenler		**n**	**%**
Yaş (yıl)	31.80±9.13*		
Cinsiyet	Erkek	33	63.5
	Kadın	19	36.5
Medeni durum	Bekar	26	50.0
	Evli	26	50.0
Eğitim durumu	İlkokul	3	5.8
	Ortaokul	1	1.9
	Lise	17	32.7
	Üniversite	31	59.6
Aylık gelir durumu	Gelir giderden az	14	26.9

	Gelir gidere denk	28	53.8
	Gelir giderden fazla	10	19.3
Kronik hastalık durumu	Evet	5	9.6
	Hayır	47	90.4
Sürekli ilaç kullanma durumu	Evet	6	11.5
	Hayır	46	88.5
Vardiyalı çalışma durumu	Evet	9	17.3
	Hayır	43	82.7
İş kazası geçirme durumu	Evet	8	15.4
	Hayır	44	84.6
Meslek hastalığı durumu	Evet	0	0.0
	Hayır	52	100.0
İSG eğitimi alma durumu	Evet	48	92.3
	Hayır	4	7.7
Toplam:		52	100
**** ortalama±standart sapma***			

Çizelge 3.1. de çalışanların tanıtıcı özellikleri verilmiştir. Buna göre çalışanların yaş ortalaması 31.80±9.13'tür ve %63.5'ini erkekler oluşturmakta olup %50'si evlidir. Çalışanların %59.6'sı üniversite mezunudur ve %53.8'inin gelir- gider durumu birbirine denktir. Çalışanların %90.4'ünün herhangi bir kronik hastalığı yoktur ve %88.5'inin sürekli kullandığı bir ilaç bulunmamaktadır. Çalışanların %82.7'si vardiyasız çalışmaktadır ve %15.4'ü iş kazası geçirmiş olup %100'ünün meslek hastalığı bulunmamaktadır. Çalışanların %92.3'ü İSG eğitimi almıştır (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.2 Çalışanların İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği toplam ve alt boyutları ile İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği toplam puanlarının ortalama, minimum ve maksimum değerleri (n= 52)

Ölçek	**Madde Sayısı**	**Ortalama**	**Standart Sapma**	**Minimum**	**Maksimum**
İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği	38	84.92	12.65	61.0	112.0
İSG Bilgilerine Erişebilme Yeteneği	7	14.92	3.11	10.0	21.0
İSG Bilgilerini Anlama	15	34.46	5.61	23.0	43.0
İSG Bilgilerinin Değerlendirilmesi	4	9.32	1.90	6.0	12.0
İSG Bilgilerini Kullanma ve İletme	12	26.21	4.50	15.0	36.0
İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği	29	108.65	24.41	57.0	145.0

Çizelge 3.2. de çalışanların İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği ve İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği toplam ve alt boyutlarının ortalama, minimum ve maksimum değerleri verilmiştir. Buna göre çalışanların İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği toplam puan ortalaması 84.92±12.65 olup İSG Bilgilerine Erişebilme Yeteneği Alt Boyutu puan ortalaması 14.92±3.11, İSG Bilgilerini Anlama Alt Boyutu puan ortalaması 34.46±5.61, İSG Bilgilerinin Değerlendirilmesi Alt Boyutu puan ortalaması 9.32±1.90 ve İSG Bilgilerini Kullanma ve İletme Alt Boyutu puan ortalaması 26.21±4.50'dir. Çalışanların İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği toplam puan ortalaması ise 108.65±24.41'dir (Çizelge 3.2.).

Çizelge 3.3 Çalışanların İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği ve Alt Boyutları ile İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği puan ortalamalarının korelasyonu

Değişkenler		**İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği**
İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği	r	0.631
	*p	**0.000**

İSG Bilgilerine Erişebilme Yeteneği Alt Boyutu	r	0.458
	*p	**0.001**
İSG Bilgilerini Anlama Alt Boyutu	r	0.549
	*p	**0.000**
İSG Bilgilerinin Değerlendirilmesi Alt Boyutu	r	0.534
	*p	**0.000**
İSG Bilgilerini Kullanma ve İletme Alt Boyutu	r	0.545
	*p	**0.000**

r: Pearson Korelasyon Analizi; *p<0.01

Çizelge 3.3. te çalışanların İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği ve Alt Boyutları ile İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği puan ortalamalarının korelasyonu verilmiştir. Buna göre İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği toplam ve alt boyut puan ortalamaları ile İş Sağlığı ve Güvenliği Yeterlilik Algısı Ölçeği toplam puanı arasında orta düzeyde pozitif yönde ilişki olduğu görülmüştür ($p<0.01$).

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında, fabrika çalışanlarının iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri ile iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algıları arasındaki ilişki incelenmiştir. Katılımcıların %63.5'inin erkek, %36.5'inin ise kadın olduğu görülmüş; çalışanların iş sağlığı okuryazarlık düzeylerinin genel olarak yeterli düzeyde, İSG yeterlilik algılarının ise yüksek düzeye oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, iş sağlığı okuryazarlığı ile İSG yeterliliği arasında anlamlı ve pozitif yönlü bir ilişkinin varlığına işaret etmektedir. Nitekim bu sonuç, literatürde yer alan sağlık okuryazarlığının bireylerin sağlıkla ilgili karar alma süreçlerine etkisini desteklemektedir (Durmaz vd., 2020; Afshari vd., 2017).

Sağlık okuryazarlığının; gelir düzeyi, eğitim düzeyi, dil yeterliliği ve sağlık hizmetlerine erişim gibi çeşitli sosyo-demografik değişkenlerle ilişkili olduğu bilinmektedir. Bu ilişkiyi destekleyen bir çalışmada, mermer fabrikası çalışanlarının sağlık okuryazarlığı düzeyleri ile sosyokültürel özellikleri ve sağlık algıları arasında anlamlı bir ilişki saptanmıştır (Durmaz vd., 2020). Türkiye genelinde sağlık okuryazarlığı düzeylerine yönelik yapılan çalışmalar sınırlı olmakla birlikte, eldeki veriler durumun ciddiyetini ortaya koymaktadır. Sağlık Bakanlığı'nın 2019 yılında yayımladığı rapora göre, Türkiye'de her on kişiden yalnızca üçü yeterli sağlık okuryazarlığına sahiptir; yetersiz düzeyde olanların oranı ise %68.9'dur (Sağlık Bakanlığı, 2019). Farklı sektörlerde yapılan çalışmalarda da işçilerin yarısından fazlasının sağlık okuryazarlık

düzeylerinin yetersiz olduğu ortaya konmuştur (Sezgin & Uskun, 2021; Afshari vd., 2017). Bu bulgular, bireylerin sağlık bilgilerine erişme, anlama ve uygulama becerilerinde ciddi eksiklikler olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, çalışmamızda belirlenen sağlık okuryazarlık düzeyinin ortalamanın üzerinde olması, örneklem grubundaki bireylerin bu konuda daha bilinçli olduklarını ve sağlıkla ilgili bilgileri edinme ve kullanma konusunda daha yeterli olduklarını düşündürmektedir. Çalışmamızda ortaya konan yeterli düzeydeki iş sağlığı okuryazarlığı, olumlu bir bulgu olarak değerlendirilmektedir. Ancak farklı sektörlerde yapılan çalışmalarla kıyaslandığında ortaya çıkan düzey farkları, örneklem grubunun niteliği ve kurum içi eğitim faaliyetlerinin etkisiyle açıklanabilir.

İş kazalarının ortaya çıkmasında birçok etken rol oynamaktadır. Literatürde bu kazaların başlıca nedenleri arasında eğitimsizlik, olumsuz çalışma koşulları, yetersiz denetim, ekipman bakımının ihmal edilmesi, çalışan tutumları, dikkatsizlik ve ilgisizlik gibi faktörler sıralanmaktadır (Ceylan, 2021). Bu bağlamda değerlendirildiğinde, çalışmamızda katılımcıların %15.4'ünün iş kazası geçirmiş olması, iş yerinde güvenlik uygulamalarının geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, katılımcıların %82.7'sinin vardiyasız çalışmasına rağmen bu düzeyde bir iş kazası oranının bulunması, kazaların yalnızca vardiya sistemine bağlı olmadığını, bireysel farkındalık ve kurumsal güvenlik kültürünün önemini ortaya koymaktadır. Nitekim vardiyalı çalışma düzeninin iş kazaları açısından bireyi daha riskli hale getirdiği bilinmektedir (Camkurt, 2007).

Çalışmamızda İSG yeterlilik algısının yüksek düzeye oldukça yakın olması ise, çalışanların sahip oldukları bilgi birikimini uygulamaya tam olarak dönüştürme ve kendilerini bu konuda tam yetkin hissetme düzeylerinin henüz istenilen seviyeye ulaşmadığını göstermektedir. Bu çalışmada saptanan pozitif yönlü ilişki, iş sağlığı okuryazarlığının geliştirilmesinin İSG yeterlilik algısını da olumlu yönde etkileyeceğini ortaya koymuştur. Bu durum, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik yapılacak stratejiler açısından kritik öneme sahiptir. Nitekim yapılan bir başka çalışmada, yeraltı kömür işletmelerinde çalışan bireylerin İSG konusunda eğitim düzeyleri arttıkça iletişim becerilerinin arttığı ve böylece İSG kültürünün güçlendiği görülmüştür (Şahin, 2022).

Sonuç olarak fabrika çalışanlarının iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri ile iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algıları arasındaki ilişkiyi ölçmek amacıyla yaptığımız çalışmada iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri iş sağlığı ve güvenirliği yeterlilik algıları arasında orta düzeyde pozitif, anlamlı bir ilişki bulunmuştur. Bu doğrultuda iş sağlığı okuryazarlık düzeyleri arttıkça İSG yeterlilik algısı da artacak ve bu sayede çalışanlar iş kazaları ve meslek hastalıklarından korunabilecektir. İş sağlığı okuryazarlık düzeylerini etkileyen faktörlerin araştırılması, iş sağlığı okuryazarlık düzeylerini arttıracak İSG eğitim programlarının düzenlenmesi halk sağlığı/iş sağlığı hemşirelerine önerilir.

KAYNAKÇA

Afshari, M., Teimori, G. H., Kohnavard, B., Pour, H. E., & Kangavari, M. (2017). Workers' health literacy in a car spare parts factory: A cross-sectional study. *Iran Occupational Health, 14*(2), 147-155.

Camkurt, M. Z. (2007). İşyeri çalişma sistemi ve işyeri fiziksel faktörlerinin iş kazalari üzerindeki etkisi. *TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi, 21*(1), 80-106.

Ceylan, H. (2021). Türkiye'de meydana gelen ölümlü iş kazaları. *İSG Akademik, 3*(1), 1-13.

Çimen, A., & Çimen, S. (2020). İş sağlığı ve iş güvenliğinin önemi ve Bayburt örneklemi. *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 3*(2), 81-85.

Dirim, A. (2021). Bir iş yerinde sağlık okuryazarlığı düzeyi ve ilişkili faktörler. Uzmanlık Tezi, Ege Üniversitesi.

Durmaz, S., Sürücü, E., & Ozvurmaz, S. (2020). Mermer Fabrikası İşçilerinde Sağlık Okuryazarlığı, Sağlık Algısı Düzeyleri ve İlişkili Faktörlerin Belirlenmesi. Medical Sciences, 15(3), 81-91.

Göksu, E., Başar, H., & Erol, M. (2020). Odun hammaddesi üretiminde çalışanların geçirdikleri iş kazası ve meslek hastalıkları yönünden değerlendirilmesi. *Ormancılık Araştırma Dergisi, 7*(2), 120-130.

Kocaay F. (2020). Bir fakülte çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algılarına ilişkin ölçek geliştirme çalışması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi.

Mavi, E. E. (2021). İşletme çalışanlarının iş güvenliği algısının ölçülmesi Isparta örneği. *İSG Akademik, 3*(1), 71-78.

Özdemir, F. & Serin, H. (2022). Çalışan ve sektörlere göre iş kazası ve meslek hastalığı üzerine bir araştırma. *Turkish Journal of Forest Science, 6*(1), 275-285.

Sağlık Bakanlığı. (2019). Türkiye'nin Sağlık Okuryazarlığı Düzeyi Ölçüldü. https://sggm.saglik.gov.tr/TR,57003/turkiyeninsaglik-okuryazarligi-duzeyi-olculdu.html

Sezgin, Ö., & Uskun, E. (2021). Bir sanayi sitesinde küçük ölçekli işyerlerinde çalışanların sağlık okuryazarlığı düzeyi. *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research, 5*(3), 236-247.

Suthakorn, W., Songkham, W., Tantranont, K., Srisuphan, W., Sakarinkhul, P., & Dhatsuwan, J. (2020). Scale development and validation to measure occupational health literacy among Thai informal workers. *Safety and Health at Work, 11*(4), 526-532.

Şahin, O. (2022). Yeraltı kömür işletmelerinde çalışanların iş sağlığı ve güvenliği algılarının belirlenmesi: Malatya ili örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi.

Şen, M., Dursun, S., & Murat, G. (2018). Türkiye'de iş kazaları: Avrupa birliği ülkeleri bağlamında bir değerlendirme. *OPUS International Journal of Society Researches, 9*(16), 1167-1190.

Temel, E., Çakır, U., & Yazar, F. F. (2021). İmalat işletmelerinde iş sağlığı ve iş güvenliği üzerine bir araştırma: Tuğla fabrikaları örneği. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety, 5*(2), 133-146.

Uskun, E., Güblü, M., Evcil, F. Y., Kalaycı, Ö., Kartal, F. M., Önal, Ö., & Kişioğlu, A. N. (2022). İş Sağlığı Okuryazarlığı Ölçeği'nin Türkçe geçerlik ve güvenirliği: Metodolojik bir çalışma. *Turkiye Klinikleri J Med Sci*, *42*(3), 191-203.

Yağcı, M., Tuna, H., Özdemir, M., & Albayrak, S. (2022). Geleceğin sağlık profesyonellerine verilen iş sağlığı ve güvenliği dersinin iş sağlığı ve güvenliği yeterlilik algılarına etkisi. *Ekev Akademi Dergisi*, (89), 141-155.

Yeşiltepe, A., & Karadağ, G. (2019). Meslek hastalığının boyutları ve meslek hastalıklarından korunmada iş sağlığı hemşiresinin rolleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, *12*(4), 294-302.

ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİK GÖSTEREN HEMOSTATİK JELLERİN HAZIRLANMASI VE *İN VİTRO* ETKİNLİĞİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Emine Hilal ALTINTOP

Biyomedikal Teknolojiler Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Katip Çelebi Üniversite,

hilalemineltintop@gmail.com - ORCID ID 0009-0004-3766-1918

Didem ŞEN KARAMAN

Biyomedikal Mühendisliği, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi,

didem.sen.karaman@ikcu.edu.tr- ORCID ID 0000-0002-2368-9598

ÖZET

Cerrahi operasyonlar sırasında ve sonrasında kanamanın kontrol edilebilmesi, travmatik yaralanmalarda ise hızlıca kanamanın durdurulması hayati önem taşımaktadır. Bu yüzden pıhtılaşmanın gerçekleşmediği ya da ciddi kan kaybının olduğu durumlar birçok soruna hatta ölüme yol açmaktadır. Kan kaybının önüne geçmek için yüzyıllardan beri kan durdurucu olarak gazlı bez gibi birçok malzeme kullanılmaktadır. Günümüzde kan durdurcu (hemostatik) etki gösteren malzemelerden lokal olarak yara bölgesine uygulanabilecek örtüler üretilmektedir. Bu örtülerin kanamanın durdurulmasını sağlarken yaralı bölgeye de zarar vermemesi beklenir. Fakat, örtülerde ve yaralarda enfeksiyon oluşumuna sıkça karşılaşılmakta bu da yara iyileşme süresini tehlikeye atmaktadır. Bu çalışmada, ameliyat sonrası yaralara uygulanabilecek kan durdurucu etki gösteren ve aynı zamanda nanotaşıyıcıların desteği ile bakteriyel enfeksiyon oluşumunu engellemek amacıyla bir hemostatik özellikli jellerin tasarlanması ve in vitro çalışmaları gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Bu sayede; ithal ürün olarak temin edilen benzer ürünler dolayısı ile oluşan dışa bağlılığın kaldırılması yönünde bir ilerleme kat edilmesi planlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kollajen, hidrojeller, Lizozim,MSN, Kan durdurucu örtü.

DESIGN OF HEMOSTATIC GELS WITH ANTIBACTERIAL PROPERTIES AND INVESTIGATING THE IN VITRO ACTIVITY

ABSTRACT

It is vital to control hemorrhage during and after surgical operations and also to stop bleeding rapidly in trauma injuries. Severe blood loss or impaired coagulation process causes several disorders including death. Many materials such as gauze are used as a blood stopper for ages. Topical dressings are fabricated from materials that show hemostatic properties at wound areas. It ensures that these topical dressings do not cause any damage at wound area and control the hemorrhage. However, bacterial infections at wound area and dressing are encountered often and endanger the wound healing. In this study, we aim to design a hydrogel-based dressing that can be applied to postoperative wounds and has a hemostatic effect while preventing bacterial infection with the aid of nanocarriers will be designed the performances will be investigated by in vitro investigations.t is planned to make progress towards removing the dependency on foreign sources due to similar products supplied as imported products.

Keywords: Collagen, hydrogels, Lysozim, MSN, Hemostatic dressing

1. GİRİŞ

Kanama, birçok cerrahi tedavi ve travma yaralanmaları sonrasında sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Sağlıklı bir bireyde kanamanın kendiliğinden durması beklenirken hemostaz mekanizmasının bozulması dışarıdan müdahale edilmesini gerektirmektedir. Bu uygulamalar ile hedeflenen kanamaya sebep olan durumun tedavisi ve normal hemostaz mekanizmasının işlevinin korunmasıdır (Çolak vd., 2019). Kanamanın cerrahi işlem sırasında ve sonrasında etkili bir şekilde kontrol edilebilmesi hayati önem taşımaktadır; bunun için ilgili bölgeye direkt bası, hemostatik sütur, elektrokoagülasyon ya da topikal hemostatik ajanlar uygulanmalar arasındadır (Muñiz vd., 2017). Çok miktarda kan kaybı koagülopati, hipotermi, çoklu organ yetmezliğine sebep olabilir. Özellikle, ciddi yaralanmaları olan travma hastalarının %25'inde acil servise ulaştıklarında koagülapati saptanmıştır(Khoshmohabat vd., 2016). Kan durdurucu etki gösteren (hemostatik) örtüler ile fazla miktarda kan kaybının önüne geçilebileceğine ilgili ön görüler litaratürdeki çalışmalarda yer almaktadır (Khoshmohabat vd., 2016). Özellikle, kanamanın durdurulması için ilk başvurulan turnike metodunun kullanımının zor olduğu ve yetersiz kaldığı örneğin koltuk altı, kasık gibi bölgelerde hemostatik örtüler iyi bir seçenektir (Chiara ve diğerleri, 2018). Hemostatik örtülerin en sık ihtiyaç duyulduğu uygulamalar arasında Pediküllü flep uygulaması yer almaktadır ve bu sayede hemostatik örtülerin operasyon sonrası kanamayı ve kontaminasyonu engellemesi sağlanabilmektedir Hemostatik örtülerin küçük kanamaları engellerken vaskuler pediküldeki normal akışa olanak verecek özellikle olması beklenmektedir (Muñiz vd., 2017).

Klinikte tedavi amaçlı hızlı hemostaz için farklı aktive farmosötik ajanlar kullanılmaktadır fakat bu durum kısa yarılanma ömrü nedeniyle dozaj tekrarına, kısa süre içerisinde çok miktarda ilaç kullanımından dolayı nefrotoksisite ve nörotoksisite oluşması sebep olmaktadır. Ayrıca, yara enfeksiyonlarında ve kronik yaraların iyileştirilmesinde de yetersiz kalmaktadır (Lin vd., 2020). Topikal hemostatik ajanlar ufak damarların ya da kapiller damarların hasar görmesiyle oluşan kanamalarda hasarlı doku ya da organ yüzeyine uygulanabilen ve çeşitli malzemelerden jel, granül spray gibi farklı yapılarda üretilebilen ürünlerdir(Atalan, 2014). Konvansiyonel olarak kullanılan hemostatik ajanlar selüloz tabanlı ürünler, fibrin ve sentetik yapıştırıcılardır (Recınos, Inaba, Dubose, Demetrıades Ve Rhee, 2008). Hemostatik ajanların lokal olarak uygulanmasında uygulama bölgesindeki dokulara hasar vermemesi, baskıdan dolayı iskemiye ve lokal inflamasyona yol açmamasına dikkat edilmelidir. Bunların yanında hali hazırda kullanımda bulunan hemostatik ajanların bakteri tutunması için yuva sağladığı, enfeksiyonu ve abse oluşumunu arttırtığı literatür çalışmalarında ileri sürülmüştür (Recınos ve diğerleri, 2008). Hemostatik örtülerdeki bu eksikler ; bakteriyel enfeksiyon oluşumunu engelleme, yara iyileşmesini destekleme gibi fonksiyonel, mekanik olarak stabil, biyouyumlu, biyobozunur ve yara dokusunda hücre dışı matriks olarak görev alacak hemostatik biyomalzemeler geliştirilmesine ihtiyaç doğurmuştur. Ek olarak, bitkisel kökenli (Surgicel®, Tabotamp®, Hemostase®), Tachosil® veya Tisseel® gibi fibrin örtücüler gibi çok çeşitli hemostatik ajanlar, sadece jelatinden (Gelfoam®) oluşan farklı sünger ürünleri veya daha fazlası polivinil alkol sünger (Merocel®) son on yılda geliştirilmiştir. Son dönemde Jelatin-trombin matris dolgu macunları, fibrin oluşumunu kolaylaştırmak, pıhtılaşmayı teşvik etmek ve kan kaybını

en aza indirmek için pıhtılaşma kademesinin son aşamasında işlem sırasında yaygın olarak kullanılır(Echave vd., 2014). Bu ajanlar, akıcı bir jelatin matrisi (sığır veya domuz) ve insandan türetilmiş bir trombin bileşeninin bir karışımıdır. Örneğin Floseal® ve Surgiflo® bir sığır jelatin matrisi ve bir domuz jelatin matrisinden oluşur sırasıyla ve tipik olarak kullanımdan hemen önce hazırlanır ve doğrudan kanama bölgesine enjekte edilir. Son dönemde Jelatin ve trombin bileşimi olan bu jel matrislerin kullanımı ile oldukça etkin sonuçlar elde edildiği derlemelerde sunulmuştur. Fakat bu ürünlerin bakteriyel enfeksiyon oluşumunu engellemedeki eksiklikleri devam etmekte ve ülkemizde üretilmediklerinden dolayı erişim kısıtları ve maliyet problemleri bulunmaktadır(Echave vd., 2014).

İnsan vücudunun yapıtaşlarından olan kollajenin tipI ve tipIII ‘ünün kanamanın kontrol edilmesinde kullanıldığı ve yara iyileşmesinde önemli bir rolü olduğu bilinmektedir(Agrawal vd., 2014). Halihazırda kollajen tabanlı kan durdurucu (Avitene Ultrafoam, EndoAvitene, Avitene UltraWrap, Helitene, Helistat) ürünler kullanılmaktadır(Huang vd., 2020). Kollajenin geniş yüzey alanı kanama bölgesinde platelet hücrelerinin aktive olmasını, çökmesini ve yapışmasına olanak sağlar (Huang vd., 2020). Fakat, iki ticari ürün arasında yapılan karşılaştırmada mikrofibrillar kollajenin enfeksiyonu azaltmada diğeri kadar etkili olmadığı görülmüştür (Barnard & Millner, 2009).

Kollajenin hidrojel formunda bir biyomazeme olarak hazırlanabilmesinin sağladığı; su tutma, hücre dışı matriks benzeri 3boyutlu ortam sağlama, fonksiyonel modifikasyona olanak sağlama, , degradasyon ve şekil özelliklerinin ayarlanabilir olması gibi avantajları sayesinde farklı biyomalzeme uygulamalarında sıklıkla kullanılmaktadır (Zheng & Zuo, 2021). Tüm bu avantajları ve son dönemde kollajenin hemostatik uygulamalara yönelik bulgularından yola çıkarak bu çalışma kapsamında kollajen hidrojel matrisinin antimikrobiyal ilaç taşıyıcılar ile birleştirilmesi planlanmaktadır.

Bakteriyel enfeksiyonların tedavisinde ve teşhisinde önemli bulguların elde edildiği mezoporlu silika nanoparçacıklar (Şen Karaman, Karakaplan, vd., 2021) (Şen Karaman, Pamukçu, vd., 2021) geniş yüzey alanı, ayarlanabilir por boyutu, yüksek ilaç yükleme kapasitesi, biyouyumluluğu ve yüzey modifikasyonlarına olanak vermesi sebebiyle nano boyutta taşıyıcı olarak sıkça kullanılmaktadır (Rosenholm vd., 2016). Son dönemde MSN nin antibakteriyel etkinlik incelemelerine yönelik çalışmalarda antibakteriyal protein taşıyıcısı olarak önemli bulgular sunulmuştur(Xu vd., 2019). Özellikle yüksek dozlarda kullanım gerektirmesine rağmen göstermiş olduğu etkilerin olumlu bulgularını öne çıkarmak adına MSN nin lizozim taşıyıcısı olarak MIC değerlerinin 5 kat daha düşürdüğüne dair bulgular gösterilmiştir (Li ve Wang, 2013). Çalışmada, MSN taşıyıcılarının porlarına yaralarda sıkça bulunan *Staphylococcus aureus*/MRSA bakterisine etki etmesi için lizozim kullanılacaktır(Xu vd., 2019). Özellikle tasarlanan çalışmada hemostatik etkiyi sağlarken kullanılan enzimin antibakateriyel etkinliği sayesinde ve silikanın yara iyileşmesindeki olumlu etkisi ile hali hazırda bulunan hemostatik örtülerin önüne geçecek çok yönlü bir tasarım elde edilmesi ön görülmektedir.

Bu çalışmada, lizsozim yüklü MSN’ler mikrofibrillar yapıdaki kollajen tipI ile hidrojel oluşturularak ameliyat sonrası veya travma sonucu meydana gelen kanamalarda topikal olarak

hemostatik etki gösterirken enfeksiyon riskinin azaltan, yara iyileşmesini destekleyen hemostatik jellerin tasarlanması ve *in vitro* çalışmalarda etkinliğinin değerlendirilmesi planlamıştır.

2. GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Geniş Porlu Nanoparçacık Sentezi ve Yüzey Kimyasının Modifiye Edilmesi (MSN-L)

2.1.1 MSN Bazlı Nanotaşıyıcıların Sentezi

Çalışmada sol-gel yöntemi ile nanoparçaçıklar elde edilmiştir. Detayında sentez solüsyonu iki ayrı fazdan oluşmuş ve sentezde TEOS silika kaynağı, CTAB ise porlu yapıyı oluşturan ajan olarak kullanılmıştır.Sentez sonucunda elde edilen yapılar MSN-L olarak isimlendirilmiş ve sentezinin tamamlanması için reaksiyon solüsyonu 60 °C'de 18-24 saat boyunca karıştırıldı. MSN- L'lerin hidrojel içerisinde takibinin yapılması için sentez solüsyonu Fluorescent Isothiocyanate(FITC) floresan boya eklendi. . Bunun için takip eden gün, MSN-L lerin toplanması ve CTAB'ın oluşmuş porlardan uzaklaştırılması için öncelikle reaksiyon solüsyonu 12000 rpm'de 20 dk boyunca santifirüjlendi. Toplanan MSN-L bazlı nanotaşıyıcıların por templati olarak kullanılan CTAB dan arındırılmasını sağlamak için solvent ekstraksiyonu yapılmıştır. CTAB'ın uzaklaştırılması için ise MSN-L keki %1.2 (w/v) amonyum nitrat-ethanol solüsyonu ile üç kez yıkama işlemi gerçekleştirildi. Elde edilen nanoparçacık keki sonikasyon banyosu kullanılarak 2 kere absollü etanol ile yıkanmıştır. MSN-L nanoparçacıkları dimetilformamid (DMF) içinde -20 °C'de muhafaza edilmiştir(Shen vd., 2014).

2.1.2. MSN Tabanlı Nanotaşıyıcıların Yüzey Kimyasının Çeşitlendirilmesi

Bu aşamada MSN-L nanotaşıyıların yüzeyleri Lizozim yüklemesini sağlamak amacıyla modifiye edilmiştir. Literatürde son dönem bulgularında MSN yapılarının biyomolekül taşıyıcısı olarak değerlendirildiği çalışmalar dikkate alındığında, silika nanoparçıklarının yüzey kimyasının hidrofobik özellik kazandırılması ile biyomolekül /protein taşıyıcısı olarak daha verimli bir tasarım sunulmuştur(Zhang vd., 2018). Benzer bir yaklaşımla gerçekleştirilmesi planlanan MSN-L yapısının literatürdeki protokoller kullanılarak octadecyltrimethoxysilane (ODMS) ile yüzey kaplaması gerçekleştirilmiştir. İstenen hidrofobik yüzey kaplaması için 20 mg MSN-L, vakum altında 20 dakika kurutulduktan sonra 4 ml toluen ile 20 dakika sonikasyona tabi tutulmuştur. Ardından trietanolamin (TEA) ve oktadesiltrimetoksisilan (ODMS) eklenerek karışım, 40°C'de 300 RPM hızla 48 saat reaksiyona sokulmuştur. Reaksiyon sonrası, 12000 RPM'de, 4°C'de 20 dakika santrifüjleme ve mutlak etanol ile çöktürme işlemi yapılmış, son olarak 38-40°C aralığındaki etüvde kurutularak hedef hidrofobik yüzey elde edilmiştir.

2.1.3. MSN Tabanlı Nanotaşıyıcıların Karakterizasyonu

Sentezlerden elde edilen örneklerin boyut ve zeta potansiyel analizi HEPES buffer (pH 7.2, 25 mM) içinde örneklerin sonikasyon yardımı ile konsantrasyon 0.25 mg/ml olacak şekilde disperse

edilmesinin ardından gerçekleştirilmiştir. Termogravimetrik analiz yöntemi ile uygulanan yüzey modifkasyonlarının başarısı tayin edilmiştir. Bunun için yaklaşık 3 mg örnek (O_2 atmosferinde, 10 K/dk. İle 450^0C ye kadar yükseltilerek). Buna ek olarak, MSN-L örneklerinin por boyut analizi yapılmıştır. Elde edilen MSN-L'ların morfolojik karakterizayonu taramalı elektron mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Karbon bant üzerine ince bir tabaka halinde yayılan nanoparçacık örnekleri vakum altında altın tozu ile kaplanmış v e sonrasında görüntüleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2. Nanotaşıyıcıların Verimliğinin Tayin Edilmesi

İlk aşamada Lizozim fosfat tampon çözeltisi içinde farklı konsantrasyonlarda (5; 50; 75; 100; 250; 500 µg/ml) oranlarında oluşturuldu ve sonrasında kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen yüzey kimyası hidrofobik yapılarla modifiye edilmiş ve işlem görmemiş MSN-L lere 5,10,25,50 ve 100% (ağırlık/ağırlık) miktarlarında lizozim yüklemesi yapılmıştır. Bunun için, fosfat tampon çözeltisi içerisinde 2mg/mL konsantrasyondaki MSN-L 'e PBS içerisindeki 2mg/mL lizozim solüsyonundan 1 mL eklenerek 4 saat boyunca oda sıcaklığında döndürülmüştür. 4 saat sonra, karışımlar 12000 RPM'de 10 dakika santrifüjlenerek Lizozim yüklü MSN-L (Liz-MSN-L) toplanmıştır. Yüklenen lizozim miktarının tayini için santrifüj sonrası kek üzerindeki süpernatantlar NanoDrop™ 2000/2000c cihazında UV spektrum ölçümü yapılmıştır. 280 nm'de elde edilen absorbans değerleri ve daha önce oluşturulan kalibrasyon eğrisi kullanılarak MSN-L nanoparçacığına yükleme miktarı ve yükleme verimliliği hesaplanmıştır ve adsorpsiyon izotermi oluşturulmuştur (Y. Wang ve diğerleri, 2016).

2.3 Hemostatik Jel Matriksin Oluşturulması: Kollajen/HPMC Hidrojellerinin Üretilmesi ve Karakterizasyonları

Hemostatik jel olarak kullanılacak hidrojellerinin üretilmesi için ilk olarak 12.5 mg/ml kollajen asetik asitte stok olarak oluşturuldu ve çözdürme aşamasında kollajen bağlarının hasar görmemesi için vorteksleme işlemi veya sonikasyon işlemi yapılmadan pipetleme yoluyla al ver yapılarak gerçekleştirilmiştir; 31.25 mg/ml HPMC solüsyonu hazırlandı. Sonrasında 1 ml deki kollajen konsantrasyonu 5 mg/ml olacak şekilde KOL: HPMC oranı 1:2,5; 1:2; 1:1 oranları ile 400er ul $+4^0$C birleştirildi. Son olarak jelleşmenin tamamlanması için 200 ul dihidrojenfosfat/monohidrojen fosfat oranı 1:11.5 olan NaCl içeren fosfat tampon çözeltisi ile karıştırıldı ve 37^0C etüvde 1 saat jelleşme için bekletildi. Bu solüsyonlar kollajen üretici firmasından temin edilen protokol ile gerçekleştirilmiştir (Ding vd., 2013). Farklı konsantrasyonlarda seyreltme işlemleri uygun viskozite değeri için kollajen miktarının tayini için yapılmıştır. 1:2,5 oranı uygun görülmüştür.

Oluşturan jelleşme özelliklerinin değerlendirilmesi için reolojik analiz gerçekleştirilmiştir. Jellerin içeriğine nanoparçacıklar 200 ul 1:11.5 olan fosfat buffer ile dağıtılmıştır. 800 ug/ml 1:1, 1:2, 1: 2.5; 400 ug/ml 1:2.5; 1600 ug/ml 1:2.5 oranlarında KOL: HPMC oranında birleştirildi (Elde edile 3 farklı komposizyondaki hidrojeller sırası ile Hidro2,5- Hidro1,2- Hidro1 olarak isimlendirilmiştir. Elde edilen hidrojellerin jelleşme özelliği reometre ile incelenmiştir.

2.4. *In vitro* Sitotoksisite Testleri

Farklı komposizyolar üretilen hidrojellerin ve farklı miktarlarda Liz@MSN-L içeren hemostatik jellerin sitotoksitesi (Hidro- 2.5. Liz-MSN-L , Hidro-1. Liz-MSN-L , Hidro-5. Liz-MSN-L) için L929 kodlu fibroblast hücreleri ile incelenmiştir. Sitotoksisite incelemeleri için ekstrakt çıkarmak üzere %10 fetal sığır serumu (FBS; Sigma Aldrich) ve %1 penisilin-streptomisin (10.000 birim/mL penisilin, 10.000 lg/mL streptomisin) ile desteklenmiş 5 mL Dulbecco'nun modifiye Eagle besiyerine (DMEM; Sigma Aldrich) 370C'de %5 CO_2 altında 24 saat boyunca hücre kültürü inkübatöründe daldırılmıştır. Sitotoksisite çalışmaları ISO 10993-5 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir ve jellerin üzerine 0,2 mg/ml konsantrasyona hacminde hücre ortamı eklenmiştir. Jeller daha sonra 37ºC'de %5 CO_2 altında 24 saat boyunca 180 rpm'de çalkalanarak inkübe edilmiştir (Jablonská vd., 2021).

L929 hücre hatları 4500 mg/L glukoz, L-glutamin, sodyum piruvat ve sodyum bikarbonat içeren DMEM'de kültürlenir. Bu ortam steril olarak filtrelenmiştir ve şirketin web sitesinde açıklandığı gibi hücre kültürü için uygundur. Ek olarak, DMEM ortamı hücrelere eklenmeden önce %10 fetal sığır serumu (FBS) ve %1 penisilin-streptomisin ile desteklenir.
Hücreler bir hücre inkübatöründe 37ºC'de %5 CO_2 ve yüksek bağıl nem (%90 ila 95) altında inkübe edilmiştir. Hücre kültürü ortamı her iki günde bir yenilenmiştir. Hücre yoğunluğu %80'e ulaştığında, tripsin ile muamele edilmiş ve ardından kuyu başına 10^4 hücre konsantrasyonunda 96 kuyucuklu plakalara ekilmiştir. Hücreler yüzeylere tutunmaları için gece boyunca inkübe edilmiş. Çıkarılan numuneler daha sonra ISO 10993-5 standartlarına uygun olarak %100, %75, %50 ve %25 oranlarında hücrelere eklenir. [59]. Hücreler 37ºC'de %5 CO_2 altında 24 saat boyunca inkübe edilmiştir. Daha sonra her bir kuyucuğa 10 µL kullanıma hazır resazurin (R&D Systems, ABD) eklenmiştir. Floresan yoğunluğu, resazurin ile 2-4 saatlik inkübasyondan sonra BioTek Synergy HTX çok modlu plaka okuyucu kullanılarak 540 eksitasyon ve 600 emisyon değerlerinde ölçülmüştür.

2.5. Antibakteriyel Etkinin İncelenmesi

Projenin bu kısmında jellerin antibakteriyel özelliğini değerlendirmeye geçmeden önec Liz-MSN-L nanoparçacıklarının minimum inhibasyon konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Ortaklaşa olan dış kaynaklı başka bir projemiz kapsamında *S.Aureus* suşları İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Mikrobiyoloji Ana Bilimdalı tarafından sağlanmıştır. Laboratuarımıza getirilen bakteriler biyogüvenlik kabini içerisinde 10 mL TSB (Trypticased Soy Broth), besi ortamlarında süspanse edildikten sonra 37ºC' de bir gece çalkalamalı inkübatörde 200 rpm' de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası bakteri kültürleri, TSB agar üzerine yayılarak +4ºC' de saklanmıştır. Agar yayma stok kültürler her bir in vitro test için kullanılmış olup her 4-5 haftada bir -80ºC'de dondurularak saklanan gliserol stok kültürler kullanarak yenilenmektedir. Antibakteriyel etkinlik incelemesi için; Gecelik *S. aureus* kültürü, aerobik koşullar altında 37°C ve 150 rpm'de tek bir koloniden triptik soya suyunun (TSB) aşılanmasıyla büyütülmüştür. Ertesi gün, gece boyunca büyütülen kültür, üstel büyüme fazına ulaşmak için 2 saat boyunca TSB içinde 1: 50 oranında

seyreltilmiştir. Ardından, Synergy HTX Çok Modlu Plaka Okuyucu kullanılarak 600 nm'de (OD600) optik yoğunluk ölçümü ile *S. aureus* kültürünün konsantrasyonu 10^8 CFU ml^{-1}'e ayarlanmıştır. Bakteri süspansiyonu daha sonra 10^5 CFU ml^{-1} nihai konsantrasyona kadar TSB içinde seyreltilmiştir. Bakteri süspansüyolarının elde edilmesi aşamasında eş zamanlı olarak 50 ul' lik Liz-MSN-L farklı konsantrasyonlarda minimum inhibasyon konsantrasyonunu belirlemek için 96 kuyucuklu plakaya eklenmiştir. Ardından 50 ul' lik bakteri solüsyonları üzerlerine eklenmiştir. 24 saat boyunca inkübe edilmiştir ve daha sonra her bir kuyucuğa 10 µL kullanıma hazır resazurin (R&D Systems, ABD) eklenmiştir.

Floresan yoğunluğu, resazurin ile 2-4 saatlik inkübasyondan sonra BioTek Synergy HTX çok modlu plaka okuyucu kullanılarak 540 eksitasyon ve 600 emisyon değerlerinde ölçülmüştür.

2.6. Elde Edilen Verilerin İstatistiksel Analizi

Proje kapsamında gerçekleştirilen deneyler 3 kontrollü ve 3 kere yapılmış olup verilerin istatistiksel analizi Graphpad Prism yazılımı (Versiyon 8.4.2) kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar ortalama ± standard sapma (SD) şeklinde sunulmuş ve anlamlılık düzeyi (α) 0.05'e ayarlanmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Nanotaşıyıcıların Dizayn Edilmesi ve Üretilmesi ile İlgili Bulgular

3.1.1. Zeta Potansiyel ve Boyut Analizi

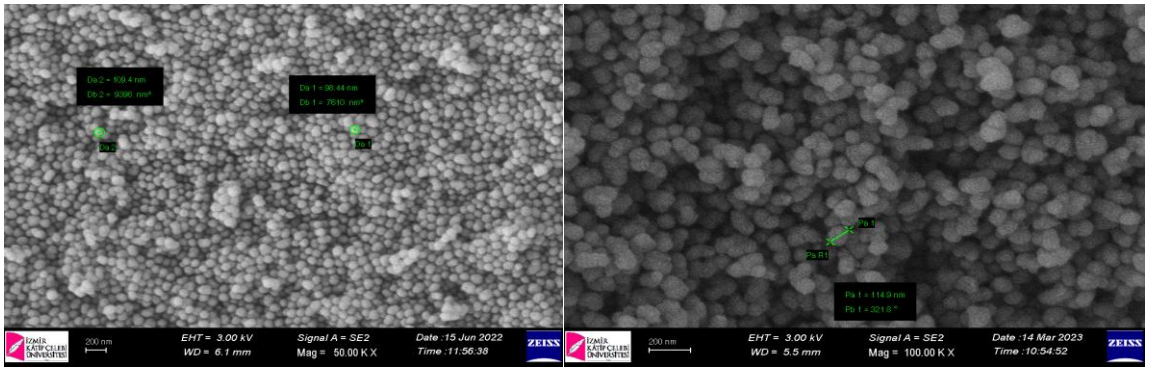
Sentezlenen MSN-L nanotaşıyıcılarına Lizozim yüklenmesini sağlamak amacıyla yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1'de görüleceği üzere yapılan modifikasyonlar nanotaşıyıcıların net yüzey yükünde beklenildiği şekilde değişimlere sebep olmuştur.

Çizelge 3. 1. MSN-L bazlı nanotaşıyıcıların modifikasyonu sonucu elde edilen hidrodiamik çap ve net yüzey yükü değerleri.

Nanotaşıyıcı	Hidrodinamik Çap	PDI (Polidispersite İndeksi)	Zeta Potansiyel
MSN-L	199.1±4.73	18.8±5	-24±0.4
Liz-MSN-L	974.1±4.73	23.6±5	-21±0.4

3.1.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analiz sonuçları

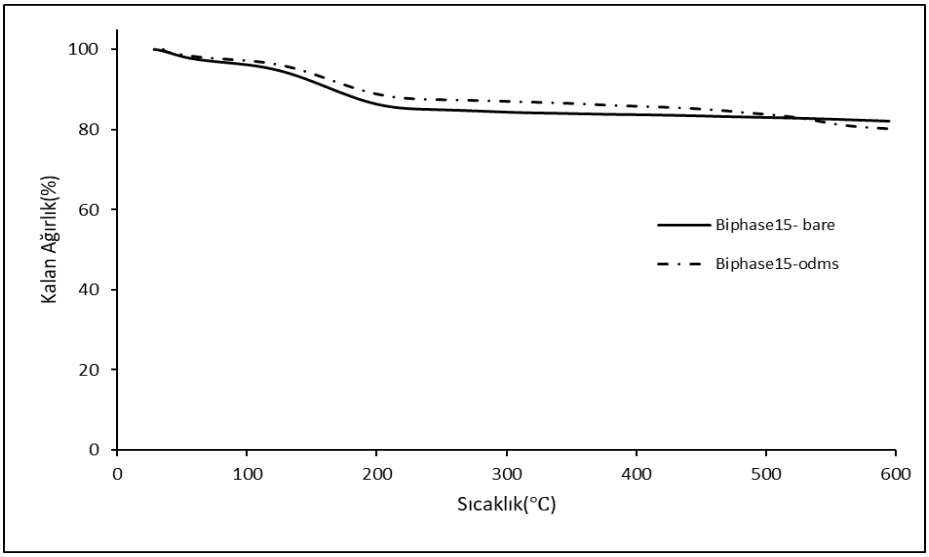
Üretilen nanotaşıyıcıların morfolojisi, boyutu ve monodispersitesi SEM analizi hizmet alımı yapılarak incelenmiştir (Görsel 3.1).



Görsel 3.1. Sentezlenen A) MSN-L ve B) Liz-MSN-L nanotaşıyıcılarının SEM görüntüleri.

3.1.3. TGA Analiz Sonuçları

Termogravimetri analizinin sonucunda gerçekleştirilen yüzey modifikasyonu işlemlerinin miktarsal olarak tayini sağlanmıştır. Datalardan gözlendiği gibi 490^{0}C sıcaklıktaki nanotaşıyıcı ağırlığı 4,56 mg, 600^{0}C sıcaklıkta ki ağırlığı 3,54 mgdır. Çizelge 3.2'de sunulduğu şekilde ODMS-MSN-L nanotaşıyıcılarına %22 (w/w) oranlarında yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3. 2 Yüzey modifikasyonu gerçekleştirilmiş MSN-L nanotaşıyıcı sistemin TGA sonuç grafiği

Çizelge 3. 2 TGA analizi sonucu miktarsal olarak elde edilen ODMS yüzey modifikasyonu sonuçları

Nanotaşıyıcı Çeşidi	w/w% of ODMS

ODMS-MSN-L	22

3.1.4. BET N_2 Sorption Analizi

İş pakatlerinde hedeflendiği üzere nanoparçaçıkların üzerinde yer alan por boyutları N_2 sorption analizi yapılarak yaklaşık olarak 11 nm olarak tayin edilmiştir (Çizelge 3.3).

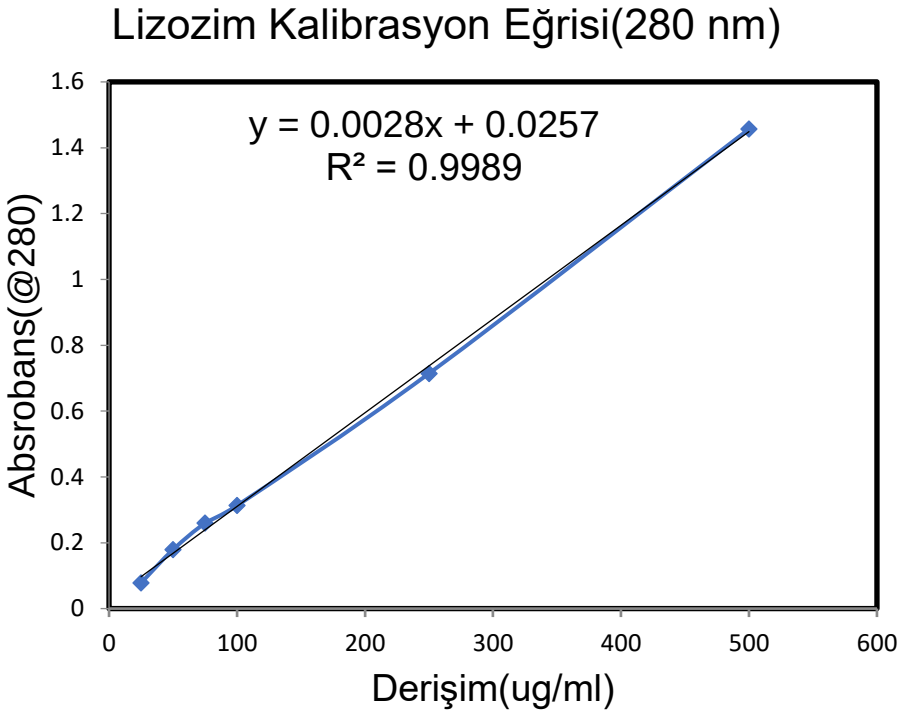
Çizelge 3. 3. MSN-L nanotaşıyıcıların N_2 sorption analizi ile belirlenen yüzey alanı, por boyutu ve total por hacmi sonuçları.

Nanotaşıyıcı	Yüzey alanı (m^2/g)	Por boyutu (nm)	Total Por Hacmi(cm^3/ g)
MSN-L	714,06	11,07	1,46

3.2. Nanotaşıyıcıların Verimliğinin Tayin Edilmesi ile İlgili Bulgular

3.2.1. MSN-L Nanotaşıyıcılarına Lizozim Yüklemesi

MSN-L lara lizozim yükleme işlemi yapılmadan önce deneylerin için kullanılacak fosfat buffer solüsyonu içinde lizozim için kalibrasyon eğrisi 25, 50, 75, 100, 250, 500 µg/ml oranlarında oluşturuldu ve excel elde edilen kalibrasyon eğrisi grafiği-denklemi aşağıda verilmiştir.

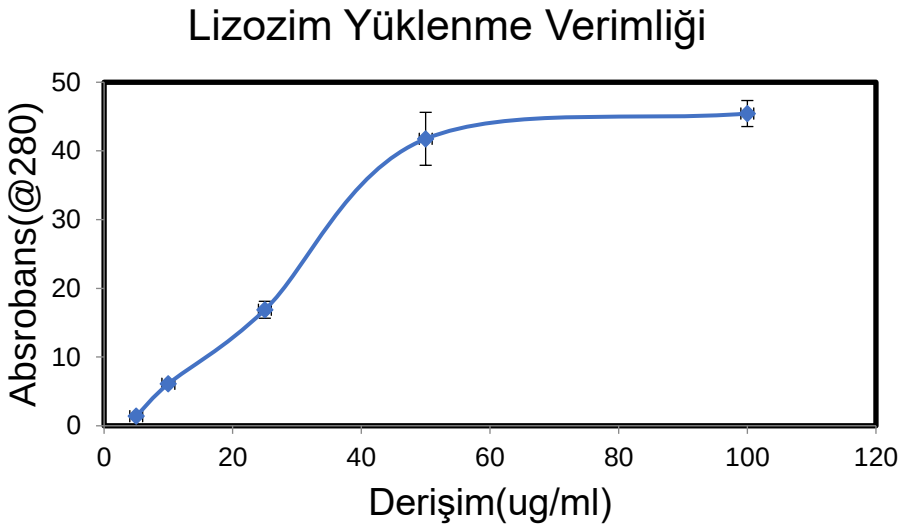


Görsel 4.3 Fosfat tampon çözeltisi içersin de oluşturulan Lizozim kalibrasyon eğrisi

Sonrasında ise projede belirtilen %100,50, 25, 10, 5 (w/w) oranında kontrol solüsyonları için sırası ile 6 mg/ml lik Lizozim stok solüsyonu fosfat tampon çözeltisinde hazırlandı. Sonrasında 6mg/ml lik NP solüsyonları için 1,5 mg NP tartımı yapıldı ve 250 ul fosfat tampon çözeltisi eklendi ayrıca kontrol için hazırlanan lizozim solüsyonları aynı oranlarda hazırlandı. Son olarak 250 ul seyreltilmiş Lizozim solüsyonları ile birleştirilen nanoparçacık solüsyonları ile nihai konsantrasyon 3mg/ml ile 4 saat +4^{0}C de çoklu manyetik karıştırıcıda beklemeye bırakıldı. Ayrıca analiz için yüklemelerde ki oranlarda lizozim için kontroller oluşturuldu. 4 saat sonrasında santrifüjleme işlemi yapılmıştır. Yüklenen lizozim miktarının tayini için santrifüj sonrası kek üzerindeki süpernatantlar NanoDrop™ 2000/2000c cihazında UV spektrum ölçümü yapılmıştır. 280 nm'de elde edilen absorbans değerleri ve daha önce oluşturulan kalibrasyon eğrisi kullanılarak MSN-L nanoparçacığına yükleme miktarı ve yükleme verimliliği hesaplanmıştır ve adsorpsiyon izotermi oluşturulmuştur. Başlangıç lizozim miktarından yola çıkarak Şekil 3.4 deki gibi yükleme verimi bulundu. Çizelge 3.4 teki sonuçlarla ve Görsel 3.4 sonuçlarına göre %50 olarak gerçekleştirilen yükleme deneyler için uygun görülen oran seçildi.

Çizelge 3. 4. 5 farklı konsantrasyonda Lizozimin MSN-L bazlı nanotaşıyıcıya yüklenmesinin ardından elde edilen yükleme oranları.

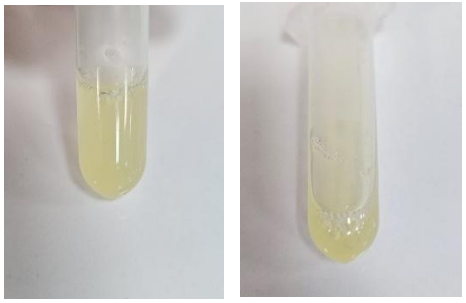
Lizozim (%)	Yükleme Oranı (%)/STD
5	1,40±0,09
10	6,10±0,27
25	16,88±1,23
50	41,76±3,85
100	45,44±1,85



Görsel 3.4 MSN-L nanotaşıyıcılara farklı oranlarda gerçekleştirilen Lizozim yüklenme adsorpsiyon izotermi.

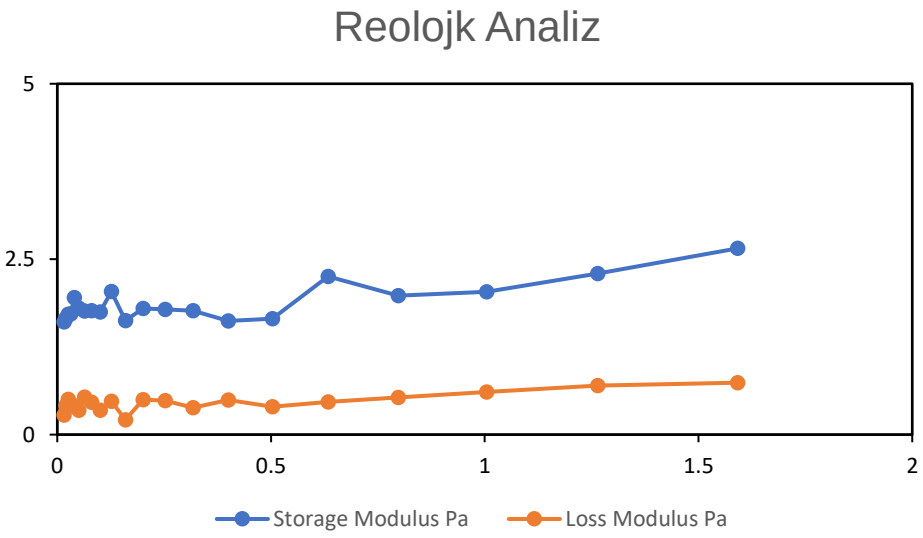
4.3 Hemostatik Jel Matriksin Oluşturulması: Kollajen/HPMC Hidrojellerinin Üretilmesi ve Karakterizasyonları ile İlgili Bulgular

Elde edile 3 farklı komposizyondaki hidrojeller sırası ile Hidro2,5- Hidro1,2- Hidro1 olarak isimlendirilmiştir. Gözlemsel olarak Hidro2.5 seçilmiş ve bakteri inhibasyonu sonuçlarından yola çıkılarak içerisine Liz-MSN-L katkılandırılması gerçekleştirilmiştir.



Görsel 3. 5 Hidro2,5 oranı ile oluşturulan içine Liz-MSN-L katkılandırılmış Jel görüntüleri.

Gözlemler sonucunda elde edilen Hidro2.5 jelinin içerisine antibakteriyel testlerin analizinden sonra belirlenen inhinasyon değerinin bir alt(400 ug/ml), bir üst(1600 ug/ml) ve inhibasyon değeri(800 ug/ml) olacak şekilde katkılandırmalar gerçekleştirilmiş ve reolojik analiz yapılmıştır. Bunun sonucunda inbibasyon değerinin üstündeki değerin analiz sonucu Görsel 3.6 da verilmiş olup jelleşme karakterize grafiğinin elde edildiği görülmüştür.

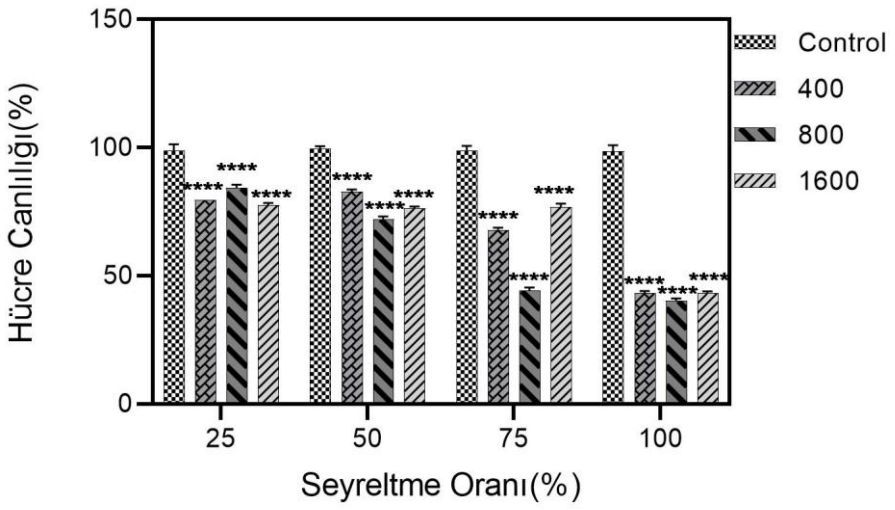


Görsel 3. 6 Hidro2.5 oranı oluşturulan jelin içerisine Liz-MSN-L katkılandılması ile elde edilen reolojik analiz grafiği

4.4. In vitro Sitotoksisite Testleri

Sentezlenen MSN-L nanotaşıyıcısının lizozim yüklemesinden sonra toksisitesi L929 hücre hattı üzerinde araştırılmıştır. Bunun için belirtilen konsantrasyonlardaki lizozim yüklü nanotaşıyıcı jellerin içine dahil edilip ekstrakt alındıktan sonra seyreltme işleminden yapılıp hücrelere tatbik edilmiş ve canlılık Alamar Blue testi kullanılarak tayin edilmiştir. Alamar blue testi içeriğindeki

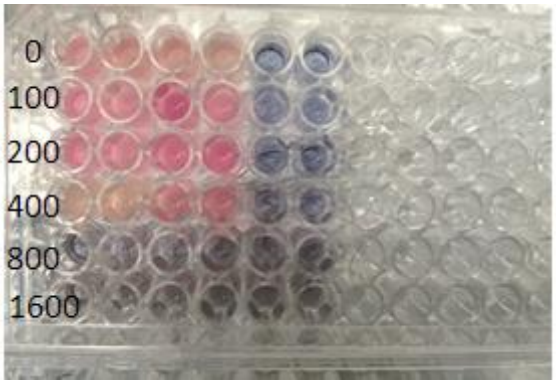
resazurin molekülünün canlı hücreler tarafından floresan bir molekül olan resofurine dönüştürülmesine dayanır. İstatistiksel analiz GraphPad Prism 8.4.2 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. P değerlerini belirlemek için tek yönlü ANOVA kullanılmıştır. P değerleri aşağıdaki gibi raporlanmıştır: GP: 0.1234 (anlamlı değil), 0.0332 (*), 0.0021 (**), 0.0002 (***) ve <0.0001 (****). ISO 10993-5 standardına göre, %70'in altındaki değerler toksik olarak kabul edilir. Dolayısıyla analiz sonucunda elde edilen floresan değerleri hücre canlılığını hesaplamak için kullanılmış ve aşağıda Görsel 3.7 de görüldüğü gibi grafiğe dönüştürülmüştür.



Görsel 3. 7 Liz-MSN-L'ın 400,800,1600 ug/ml oranlarında Hidro2.5 jellerinin içerisine dahil edilmesi ile %25,50,75,100 oranlarında seyreltme ile L929 hücre canlılığının gösterilmesi (p değer stili: GP: 0.1234 (ns), 0.0332(*), 0.0021(**), 0.0002(***), <0.0001(****))

4.5. *In Vitro* Antibakteriyel Etkinlik

Jellerin antibakteriyel incelemesinden önce Lizozim yüklü MSN-L nanotaşıyıcalarının minumum inhibasyon (MIC) konsantrayonun belirlenmesi yapılmıştır. Burada Kontrol, 100, 200 ,400, 800,1600 ug/ml Liz-MSN-L konsantrasyonları bakteri hücrelerine uygulanmıştır. 24 saat sonunda canlılık Alamar Blue testi kullanılarak tayin edilmiştir. Alamar blue testi içeriğindeki resazurin molekülünün canlı hücreler tarafından floresan bir molekül olan resofurine dönüştürülmesine dayanır. Kuyucuklu plaka görüntüsünün verildiği Şekil 4.8'de görüldüğü gibi 400 ug/ml konsantrasyonda canlı olan bakteri hücreleri 800 ug/ml konsantrasyonunda ölü olduğu görülmemektir. *S. Aureus* için MIC değeri 800 ug/ml olarak belirlenmiştir. Kuyucuklu plakanın sağ tarafında ki ikili kuyucuklar TSB ortamında Liz-MSN-L nanotaşıyıcaları eklenmiştir böylece nanotaşıyıcı sistemden veya besiyeri ortamından herhangi bir kontaminasyon olmadığını kanıtlanmıştır.



Görsel 3. 8 *S. Aureus* bakteri hücreleri üzerinden Liz-MSN-L nanotaşıyıcı sistemin etkinliğinin AlamarBlue ile değerlendirilmesi

5. Genel Değerlendirme

Proje kapmasında başarı ile MSN-L nanotaşıyıcı sistemin sentezlenmesi başarı ile gerçekleştirilmiştir. Ayrıca nanotaşyıcı olarak kullanılan nanomalzemeler yüzey modifikasyonları ile birlikte özellikle protein ve enzim taşımada daha işlevsel hale getirilebilmektedir. Bu proje kapmasında da ODMS kaplama ile yüzey hidrofobikliğinin arttırılması tercih sebebi olmuştur. Lizozim yüklemesi fosfat tampon çözeltisi ortamında gerçekleştirilmiş ve %50 başlangıç yükleme veriminin %41,76 yükleme verimi sağladığı görülmüştür. Hidro2.5 jelinin karakteristik jel reometri sonuçlarını gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu sonuç içerisine yüksek oranda dahil edilen nanotaşıyıcı sitemle birlikte hala devam ettiği ve nanotaşıyıcı sistemin homejen olarak jelin içerisine dahil olduğu görülmüştür. Sonrasında Liz-MSN-L nanotaşyıcı sistemin farklı konsantrasyonlarda dahil edildiği Hidro2,5 jelinin ISO standardında belirtildiği gibi seyreltme oranları ile canlılığı test edilmiş seyreltmenin olmadığı ve düşük seyreltme yapılan testlerde sitotoksik etki oluşturduğu görülmüştür. Bunun sebebi de nanotaşıyıcı sisteme dahil edilen Lizozimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Son olarak antibakteriyel incelemesi gerçekleştirilen nanotaşıyıcı sistemin minimum inhibasyon değerinin 800 ug/ml de etkin değeri olduğu yapılan testler sonucunda görülmüştür. Sonuç olarak Liz-MSN-L ların Hidro2.5 jelinin içerisine dahil edilmesinden sonra antibakteriyel nanotaşıyıcı sistem olarak kullanılabileceği görülmüştür. Devam eden çalışmalarda nanotaşıyıcı sisteme dahil edilen lizozim ve bunların katkılandırıldırığı jellerin antibakteriyel testlerinin tamamlanması planlanmaktadır.

6.Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilim Akademisi, Üstün Genç Bilim İnsanı Ödül Programı (TUBA-GEBIP23) tarafından desteklenmektedir. İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Bilimsel Projeler Koordinatörlüğü Ofisi (BAP) (Proje #2022-GAP-MUMF-0040) ¨ fon desteği için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Agrawal, P., Soni, S., Mittal, G., & Bhatnagar, A. (2014). Role of Polymeric Biomaterials as Wound Healing Agents. *The International Journal of Lower Extremity Wounds*, *13*(3), 180-190. https://doi.org/10.1177/1534734614544523

Atalan, N. (2014). Hemostatic Drugs. *Journal of Cardio-Vascular-Thoracic Anaesthesia and Intensive Care Society*. https://doi.org/10.5222/GKDAD.2014.001

Barnard, J., & Millner, R. (2009). A Review of Topical Hemostatic Agents for Use in Cardiac Surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*, *88*(4), 1377-1383. https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2009.02.092

Çolak, S., Altan, A., & Akbulut, N. (2019). Lokal Hemostatik Ajanlar. *Journal of International Dental Sciences*, *4*(3), 147-152. https://doi.org/10.21306/jids.2018.206

Ding, C., Zhang, M., Tian, H., & Li, G. (2013). Effect of hydroxypropyl methylcellulose on collagen fibril formation in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*, *52*, 319-326. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.10.003

Echave, M., Oyagüez, I., & Casado, M. A. (2014). Use of Floseal®, a human gelatine-thrombin matrix sealant, in surgery: A systematic review. *BMC Surgery*, *14*(1), 111. https://doi.org/10.1186/1471-2482-14-111

Huang, L., Liu, G. L., Kaye, A. D., & Liu, H. (2020). Advances in Topical Hemostatic Agent Therapies: A Comprehensive Update. *Advances in Therapy*, *37*(10), 4132-4148. https://doi.org/10.1007/s12325-020-01467-y

Jablonská, E., Kubásek, J., Vojtěch, D., Ruml, T., & Lipov, J. (2021). Test conditions can significantly affect the results of in vitro cytotoxicity testing of degradable metallic biomaterials. *Scientific Reports*, *11*(1), Article 1. https://doi.org/10.1038/s41598-021-85019-6

Khoshmohabat, H., Paydar, S., Kazemi, H. M., & Dalfardi, B. (2016). Overview of Agents Used for Emergency Hemostasis. *Trauma Monthly*, *21*(1). https://doi.org/10.5812/traumamon.26023

Lin, J.-Y., Luo, S.-H., Chen, S.-H., Yang, L.-T., Xiao, Y., Huang, Z.-H., & Wang, Z.-Y. (2020). Efficient synthesis, characterization, and application of biobased scab-bionic hemostatic polymers. *Polymer Journal*, *52*(6), 615-627. https://doi.org/10.1038/s41428-020-0315-z

Muñiz, A. R., Santos, B. Q. D., Redondo, L. E., Sartori, L. D. P., Oliveira, M. P. D., & Uebel, C. O. (2017). Use of absorbable hemostatic gelatin sponge in postoperative care of the vascular pedicle of interpolated flaps. *Revista Brasileira de Cirurgia Plástica (RBCP) – Brazilian Journal of Plastic Sugery*, *32*(1), 123-127. https://doi.org/10.5935/2177-1235.2017RBCP0017

Recınos, G., Inaba, K., Dubose, J., Demetrıades, D. Ve RHEE, P. (2008). Local and systemic hemostatics in trauma: A review, 14(3), 175-181.

Rosenholm, J. M., Zhang, J., Linden, M., & Sahlgren, C. (2016). Mesoporous Silica Nanoparticles in Tissue Engineering – a Perspective. *Nanomedicine*, *11*(4), 391-402. https://doi.org/10.2217/nnm.15.212

Shen, D., Yang, J., Li, X., Zhou, L., Zhang, R., Li, W., Chen, L., Wang, R., Zhang, F., & Zhao, D. (2014). Biphase Stratification Approach to Three-Dimensional Dendritic Biodegradable Mesoporous Silica Nanospheres. *Nano Letters*, *14*(2), 923-932. https://doi.org/10.1021/nl404316v

Şen Karaman, D., Karakaplan, M. B., & Erdoğan, N. (2021). Bacteriostatic Polylactic Acid Coatings Enriched with Zinc Oxide and Silica Nanoparticles for Titanium Pedicle Screws. *JOM*, *73*(12), 4410-4418. https://doi.org/10.1007/s11837-021-04922-5

Şen Karaman, D., Pamukçu, A., Karakaplan, M. B., Kocaoglu, O., & Rosenholm, J. M. (2021). Recent Advances in the Use of Mesoporous Silica Nanoparticles for the Diagnosis of Bacterial Infections. *International Journal of Nanomedicine, Volume 16*, 6575-6591. https://doi.org/10.2147/IJN.S273062

Xu, C., Lei, C., & Yu, C. (2019). Mesoporous Silica Nanoparticles for Protein Protection and Delivery. *Frontiers in Chemistry*, *7*, 290. https://doi.org/10.3389/fchem.2019.00290

Zhang, J., Zhang, L., Lei, C., Huang, X., Yang, Y., & Yu, C. (2018). A Concentration-Dependent Insulin Immobilization Behavior of Alkyl-Modified Silica Vesicles: The FImpact of Alkyl Chain Length. *Langmuir*, *34*(17), 5011-5019. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00377

Zheng, H., & Zuo, B. (2021). Functional silk fibroin hydrogels: Preparation, properties and applications. *Journal of Materials Chemistry B*, *9*(5), 1238-1258. https://doi.org/10.1039/D0TB02099K

NARİNGENİN YÜKLÜ MESOPOROÖZ SİLİKA NANOTAŞIYICININ ÇÖZÜNÜR MİKROİĞNEYE ENTEGRE EDİLMESİ VE POLİKİSTİK OVER SENDROMU TEDAVİSİNE YÖNELİK İNCELEMELER

Ayşenur BAĞCIOĞLU
Biyomedikal Mühendisliği, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, aysenurbagciogl@gmail.com- ORCID ID 0009-0004-0154-0698
Emine Hilal ALTINTOP
Biyomedikal Teknolojiler Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Katip Çelebi Üniversite, hilalemineltintop@gmail.com - ORCID ID 0009-0004-3766-1918
Aylin KOÇ
Biyomedikal Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, aaylinkorkmazz@gmail.com- ORCID ID 0000-0002-3319-3641
Didem ŞEN KARAMAN
Biyomedikal Mühendisliği, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, didem.sen.karaman@ikcu.edu.tr- ORCID ID 0000-0002-2368-9598

ÖZET

Polikistik Over Sendromu (PCOS), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre üreme çağındaki kadınların %8-13'ünde görülen endokrin bozukluk olarak bilinmektedir. Hormonal dengesizlikler ve insülin direnci gibi belirtilerin öne çıktığı PCOS'un tedavisinde yaygın olarak sentetik progestinler kullanılmasına rağmen bu ajanların yan etkileri alternatif ve doğal tedavi yaklaşımlarına olan ilgiyi artırmaktadır. Doğal bir flavonoid olan naringenin (NAR), PCOS semptomlarını hafifletme potansiyeli ile dikkat çekmektedir; ancak düşük çözünürlüğü ve biyoyararlanımı uygulama alanını sınırlamaktadır. Bu çalışma, NAR biyoyararlanımını artırmak amacıyla mezoporoz silika nanoparçacıklarına (MSN'ler) entegre eden yenilikçi bir yaklaşımı incelemektedir. Sol-jel yöntemiyle sentezlenen MSN'ler, farklı konsantrasyonlarda NAR ile yüklenmiş; yükleme verimliliği değerlendirilmiştir. Bu nanoparçacıklar, transdermal ilaç iletimini kolaylaştırmak minimal invaziv bir ilaç uygulaması sağlamak amacıyla çözünür mikroiğne yamalarına entegre edilmiştir. Polivinil alkol (PVA) ve polivinilpirolidon (PVP) kullanılarak

üretilen mikroiğneler, mekanik dayanıklılık ve ilaç yükleme kapasitesi açısından optimize edilmiştir. Mikroiğne yamaları, mekanik stabilite, çözünme davranışı ve ilaç salım profilleri gibi detaylı karakterizasyonlardan gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma, PCOS tedavisinde doğal bileşiklere dayalı, transdermal ilaç iletimi sağlayan yenilikçi bir sistem sunarak nanoteknoloji tabanlı tedavilere katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fitokimyasallar, İlaç Taşıyıcılar, Transdermal Yama, Silikatlar, Dozaj Formlar

1. GİRİŞ

Polikistik over sendromu (PKOS) çoğunlukla üreme çağındaki kadınlarda görülen hormonal bozukluklardan biri olarak bilinmektedir. PKOS, genetik ve çevresel faktörlerin bir sonucu olarak ortaya çıkan androjen fazlalığı ve anovülasyon sebebiyle kısırlıkla sonuçlanan kardiyometabolik hastalıktır (Hortu & Karadadaş, 2019). Dünya Sağlık Örgütü (WHO)ne göre PKOS, anovülasyonun ve kısırlığın yaygın nedenlerinden biridir. Ayrıca bu verilerine göre, hastalığın üreme çağındaki kadınların tahmini olarak %8-13'ünü etkilendiği, dünya çapında ise kadınların %70'e kadarının bu hastalığı teşhis edilemediği bilinmektedir. Risk ve semptomlar hem ergenlik öncesi hem de menopoz sonrası dönemdeki kadınlarda da görülmektedir (Azziz vd., 2016). Bu konudaki çalışmalar henüz hastalığın arkasındaki etiyoloji ve patoloji kesin olarak bulamamıştır. Polikistik over sendromu (PKOS) tanısında Rotterdam kriterleri olarak bilinen kriterler, Amerikan Üreme Tıbbı Derneği ve Avrupa İnsan Üreme ve Embriyoloji Derneği tarafından tarafından kabul görmüştür. Bu kriterler; ovulatuar disfonksiyon, hiperandrojenizmin klinik ve biyokimyasal belirtileri ve ultrasonda polikistik over morfolojisi olarak sıralanabilir. PKOS tanısı için bu üç kriterden en az ikisinin bulunması gerekmektedir. (Sudhakaran vd., 2023).

PKOS'lu kadınlarda metabolik anormallikler, kısırlık, obstetrik komplikasyonlar, endometriyal kanser ve duygudurum bozuklukları riskinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Diğer riskler ise kardiyovasküler ve serebrovasküler olaylar, venöz tromboembolizm ve yumurtalık kanseri riskidir. PKOS tedavisinde obezite ve abdominal yağlanmayı hedef alan yaklaşımlar önem taşımaktadır. Aşırı kilolu hastalarla çalışıldığında diyet yönteminin karın bölgesindeki yağ kütlesini azaltmasıyla yumurtlama işlev bozukluğunda iyileşme görülse de uzun süreli PKOS tedavisi için etkili olamamaktadır. Bu nedenle farmakolojik yaklaşımlar üzerine yoğunlaşılmıştır (Escobar-Morreale, 2008).

Polikistik over sendromlu (PKOS) kadınların GnRH nabız sekresyonunun sıklığını yavaşlatmak için daha yüksek progesteron düzeylerine ihtiyacı olduğu bilinmektedir (Velija-Ašimi, 2013). Progesteron, endokrin sisteme ait ve özellikle üreme sistemi üzerinde kritik etkilere sahip olan seks steroid hormonu olarak tanımlanmaktadır. Progesteron, genomik (yavaş süreç) veya genomik olmayan (hızlı süreç) bir yolla etki edebilmektedir. Progesteron bazlı ilaç tedavisinde

progestojenler kadın hastalıklarının tedavisinde en yaygın kullanılan bileşiklerdir. Birçok jinekolojik hastalığın tedavisinde sentetik progestin bazlı ilaçlar kullanılmaktadır. Progestojenler ayrıca doğum kontrol yöntemi, menopozal hormon tedavisi, yumurtalık kanserini önlemeye yönelik çalışmalar ve PKOS tedavisinde önemli etkiye sahiptir. Seçici progesteron reseptör modülatörleri (SPRM'ler), progesteron reseptörlerine (PR) bağlanarak etki gösteren sentetik ligandlardır. SPRM'ler, progesteron gibi PR'ye bağlanarak reseptörde konformasyonel değişikliklere neden olur ve bu sayede agonistik, antagonistik veya karışık etkiler ortaya çıkarabilirler. SPRM'ler, progesteronun etkilerini taklit edebilir veya engelleyebilirler. Progesteron reseptörlerine bağlanmaları sonucu, dokuda belirli etkiler gösterirler ve bu etkiler dokuya özgü olabilir. Bu nedenle, SPRM'ler progesteronun fonksiyonlarını modüle edebilir ve belirli hastalıkların tedavisinde kullanılabilirler. Ancak, SPRM'lerin uzun süreli kullanımı endometriyal hiperplazi ve diğer yan etkilere neden olabilmektedir. Örneğin, asoprisnilin endometriyal hasara yol açtığı gösterilmiştir (Greco vd., 2021). Alternatif progestojenlerin bulunması, mevcut yan etkileri azaltmak için oldukça

önemlidir. Bu nedenle bitkisel ekstraktlar veya gıda takviyeleri gibi fitoprogestojenlerin geliştirilmesi amacıyla yapılan çalışmalar artmaktadır

Fitoprogestinler, bitki özleri veya bitki türevli bileşikler aracılığıyla elde edilen ve progesteron benzeri etkilere sahip, steroidal olmayan SPRM'ler olarak işlev görebilen doğal bileşiklerdir. NAR bu bileşiklerden bir tanesidir. NAR (4,5,7-dihidroksi-2-(4-hidroksifenil)-2,3-dihidrokromen-4-on) greyfurt, portakal ve limon da dahil olmak üzere genellikle turunçgillerde bulunan flavanonların alt sınıfına ait renksiz bir bileşiktir (Greco vd., 2021). NAR biyolojik aktivitesi sayesinde birçok çalışma için umut verici olmuştur fakat zayıf farmakokinetik profili, suda sınırlı çözünürlüğü (46 ± 6,0 µg/mL) sonucu ortaya çıkan düşük biyoyararlanımı terapötik bir ajan olarak kullanımını sınırlandırmış bu da NAR'ın klinik çalışmalarda kullanımı için bir engel oluşturmuştur(Sharma vd., 2022). Bu durum biyoyararlanımı iyileştirmek ve hedefleme potansiyelinin arttırılmasını sağlamak amacıyla NAR nano formülasyonlarının geliştirilmesine ve nano formülasyon sentezi için farklı teknikler geliştirilmesine neden olmuştur. Son yıllarda NAR için ilaç iletim sistemleri olarak kullanılan çeşitli nano taşıyıcılar şu şekildedir; lipid bazlı nanotaşıyıcılar, polimerik nanopartiküller, dendrimerler, hidrojeller, miseller, protein bazlı nanopartiküller, karbon bazlı nanotaşıyıcılar, nanotransfersomlar, nanoemülsiyonlar, nanokompozitler, metal oksit nanopartikülleri vb. Böylece bu taşıyıcılar NAR'ı yapıları içinde kapsüllemekte ve kontrol edilebilir şekilde serbest bırakabilmektedir(Bhia vd., 2021).

NAR'ın nanotaşıyıcılara dahil edilmesi çözünürlüğünü ve biyoyararlılığını arttırarak biyolojik aktivitenin artmasını sağlayan etkili bir yöntem olduğu literatürde çalışılmaktadır(Sharma vd., 2022). Fakat bu çalışmada PKOS tedavisine odaklanılmaksızın alkolsüz yağlı karaciğer hastalığının tedavisi, akut akciğer hasarının tedavisi için hedefe yönelik pulmoner dağıtım üzerindeki etkinlikleri ve diğer konular hakkında nano formülasyon yaklaşımlarının çoğunun, farklı polimerler ve değişen metodolojiler kullanılarak NAR'ın çözünürlüğünü, biyoyararlanımını ve etkinliğini arttırabildiği incelenmiştir. Yapılan son dönem çalışmasında

NAR'ın, SD sıçan modelinde letrozol kaynaklı PKOS'ta yumurtalık foliküler kistlerini azaltarak PKOS'u iyileştirdiğini, NAR bileşiğinin PKOS durumunda serum androjen düzeylerini azalttığını göstermektedir. NAR'ın, primordial ve primer folikülleri ve korpus luteumu desteklediği, normal dolaşımdaki androjen seviyelerini geri kazandırdığı ve aynı zamanda, letrozol ile indüklenen SD sıçan modelinde muhtemelen AKT yolunu içeren yumurtalık foliküler kistlerini ortadan kaldırdığı görülmüştür(Rashid vd., 2023). Fakat bu çalışmalarda NAR tek başına ya farklı bileşen kombinasyonlarıyla hücreye uygulanmış olup bu bileşiğin uygulanabilir dozaj formuna ya da nanotaşıyıcıya dahil edilmesiyle ilgili bir inceleme yapılmamıştır.

Nano ilaç iletim sistemi olarak mesoparöz silika nanoparçacıkları (MSN) son dönemde suda çözünürlüğü az olan ilaçların taşıyıcısı olarak oldukça öne çıkmaktadır(Ibrahim vd., 2020). Düzenli gözenekli yapısı, büyük iç yüzey alanı ve kimyasal stabilitesi, ilaç taşıyıcıları olarak kullanılmalarını sağlar. Gözenekli yapısı sayesinde mesoparöz silika nanopartiküller, ilaçları veya biyolojik maddeleri etkin bir şekilde adsorbe edebilir ve bu maddelerin hedeflenmiş salınımını sağlayabilirler ayrıca Mesoparöz silika nanoyapıların biyouyumlu özellikleri, biyomedikal uygulamalarda güvenli ve etkili bir şekilde kullanılmalarına olanak tanımaktadır. Bu bilgiler göz önünde bulundurulduğunda NAR bileşiğinin mesoparöz silika nanaotaşıyıcıya dahil edilmesi çözünürlüğünü ve biyoyararlılığını arttırması öngörülebilir. Literatürde bilgimiz dahilinde yapılan çalışmalar incelendiğinde MSN'nin NAR ile birleştirilerek suda çözünürlüğünün arttırılmasına ya da biyoyarlanımını destekleyecek bir yaklaşıma rastlanılmamıştır. Bu bağlamda projemizin NAR nanoformülasyonlarındaki eksikleri giderecek yönde katkı sağlayacağını öngörmekteyiz.

Naringenin kullanımı çeşitli hastalıklar için potansiyel taşısa da suda çözünürlüğünün ve ağızdan alınabilirliğinin düşük olması, naringeninin klinik öncesi ve klinik çalışmalar için farklı dağıtım yolları yoluyla iletimi için alternatifler aranmasına neden olmuştur.

Transdermal ilaç iletim sistemi (TDDS) özel olarak tasarlanmış bir formülasyon cihazı kullanılarak ilacın cilde zarar vermeden iç deriye iletildiği sonrasında dolaşım sistemine girdiği uygulamadır. Hasta uyumunu iyileştirme, stabil kan konsantrasyonunu koruma, hepatik ve bağırsaktaki ilk geçiş etkilerini önleme ve ilaç güvenliğini artırma avantajlarına sahiptir. TDDS sistemlerin özellikle NAR biyoyararlanımındaki olumsuzlukları giderebilecek bir platform sunması mümkündür. Transdermal ilaç verme tekniklerinden biri olan mikroiğneler, kütikulaya nüfuz edebilen ayrıca üç boyutlu yapısı sayesinde ilacın geçirgenliğini ve emilimini artırabilen bir tekniktir. Bu teknikle ilaç molekülleri minimal invaziv bir şekilde cilde verilebilmektedir. Ağrısız olan bu yöntem kendi kendine uygulanabilme, hasta uyumunu arttırma gibi avantajları sayesinde yoğun bir ilgiye sahiptir. Mikroiğne'lerin tipik uzunlukları 25 µm ila 2000 µm arasında değişir ve hipodermik iğnelerden çok daha keskin uçlara sahiptirler, bu nedenle epidermis ve dermisteki sinir lifleri ve kan damarlarına dokunmadan stratum korneum'u bozmak ve mikro ölçekli ilaç dağıtım kanalları oluşturmak için kullanılabilirler(Halder vd., 2021; Prausnitz vd., 2009). Mikroiğnelerin özellikle iğne kısımları nanotaşıyıcı sistemleri barındırabilecek rezervuar haznesi görevi görebilirler, böylelikle ilaç yüklü nanotaşıyıcı sistemlerin vücuda verilme yolları için hem stabilite hem de aglomerasyon problemi önüne geçilmesi mümkün olabilir.

Projemiz dahilinde bu yaklaşımın NAR yüklü nanopartiküllerin mikroiğne sistemlerine dahil edilmesi, etkili transdermal ilaç dağıtımına olanak tanıması planlanmıştır. Böylelikle mikroiğneler ciltte geçici mikrokanallar oluşturarak NAR yüklü nanoilaç taşıyıcıların ilk geçiş mekanizmasına takılmaksızın ilacın hem biyoyararlanımını arttırmasını hem de suda çözünürlük problemin üstesinden gelebileceğini öngörmekteyiz.

Bu bilgiler ışığında, projemiz kapsamında NAR yüklü mesoparöz silika nanotaşıyıcının, çözünür mikroiğneye entegre edilmesi ve PKOS hastalığı tedavisinde uygulanabilir dozaj formlarının hazırlanması ve etkinliğine yönelik incelemelerin geçekleştirilmesi planlanmaktadır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Mezoporlu Silika Nanoparçacıklarının Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Bu çalışmada, naringenin yüklemesi amacıyla mezogözenekli silika nanopartiküller (MSN), sol-jel sentez yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. MSN'lerin hazırlanmasında Karaman ve arkadaşları (2016) tarafından önerilen sentez protokolü temel alınmıştır. Sentez sürecinde, 160 mL distile su bir Erlenmayer balona alınarak ısıtıcılı karıştırıcıda hedef sıcaklığa ulaştırılmıştır. Ardından, 416 mg setiltrimetilamonyum bromür (CTAB) ilave edilmiş ve tamamen çözünene kadar karıştırılmıştır. Daha sonra çözeltiye 116 mg sodyum hidroksit (NaOH) eklenmiş ve çözünmesi sağlanmıştır. Çözünme tamamlandıktan sonra mutlak etanol ilave edilmiştir. Çözelti sıcaklığı 33 °C'ye düştüğünde, üzerine 2.1 mL tetraetil ortosilikat (TEOS) eklenmiş ve oda sıcaklığında gece boyunca sürekli karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Toplamda 18 saat süren karıştırma işleminin ardından, oluşan nanopartiküllerin toplanması ve saflaştırılması amacıyla çözelti 4 °C'de, 4500 rpm'de 20 dakika süreyle yüksek hızlı santrifüjlenmiştir. Santrifüj sonrasında elde edilen ürün, kurutma işlemine tabi tutulmuştur.

Elde edilen MSN'lerin karakterizasyonu kapsamında; boyut, polidispersite indeksi (PDI) ve yüzey yükü analizleri gerçekleştirilmiştir. Nanoparçacıkların stabilitesi ve agregasyon eğilimlerini değerlendirmek amacıyla ζ-potansiyel ölçümü yapılmıştır. Bu analizler için MSN örneği, HEPES tampon çözeltisi (25 mM, pH 7.2) içerisinde 250 µg/mL derişiminde disperse edilmiş ve dinamik ışık saçılımı yöntemiyle ölçümler, Particle Analyzer cihazı kullanılarak üç kopya halinde gerçekleştirilmiştir.

2.2 MSN Yapılarına NAR Yüklenmesi ve Yüklenme Miktarının Tayin Edilmesi

Elde edilmiş olan MSN örneklerine, solvent immersiyon yöntemi ile NAR yüklemesi gerçekleştirilmiştir. Yükleme çalışmaları kapsamında 10 mg MSN, 5 ml siklohekzan içerisinde sonikasyon banyosu yardımıyla disperse edilmiştir. Ardından, nanoparçacık süspansiyonlarına NP

ağırlığına oranla %10, %25, %50 ve %100 (a/a) olacak şekilde farklı miktarlarda NAR eklenmiş ve karışım 30 dakika boyunca sonikasyona tabi tutulmuştur. Elde edilen karışım, oda sıcaklığında 24 saat boyunca vorteks cihazında karıştırılmıştır.

Yükleme işlemini takiben örnekler 5000 rpm'de 10 dakika süreyle santrifüjlenmiş, çökeltiler bir kez siklohekzanla yıkandıktan sonra vakum altında kurutulmuştur. Farklı konsantrasyonlarda gerçekleştirilen NAR yüklemeleri ile MSN-NAR adsorpsiyon izotermi oluşturulmuş ve en yüksek yükleme kapasitesine sahip numuneler çalışmanın ilerleyen aşamalarında kullanılmıştır.

En yüksek yükleme miktarının tayini, yükleme yapılmış MSN-NAR örneklerinden etanol içerisinde NAR'ın elüe edilmesiyle belirlenmiştir (Patra vd., 2016; Senthilkumar vd., 2014). Bu elüsyon yönteminde, MSN-NAR örnekleri, sink koşullarının üzerinde olacak şekilde, NAR'ın iyi çözündüğü etanol içerisinde ultrasonikasyon yardımıyla dağıtılmış ve nanoparçacıkların porlarından naringeninin 2 saat boyunca elüe edilmesi sağlanmıştır. Elüsyon işleminin ardından santrifüjlenen nanoparçacık keki kurutulmuş ve tüm NAR'ın elüe edilip edilmediği değerlendirilmiştir.

Spektrofotometrik analiz için, öncelikle derişimleri 10, 20, 50, 100 ve 200 µg/ml olan, etanol içerisinde çözündürülmüş NAR çözeltilerinin en yüksek absorbans gösterdiği dalga boyundaki ışığı soğurma değerleri incelenmiş ve bu veriler kullanılarak bir derişim–absorpsiyon grafiği oluşturulmuş, böylece standart eğri elde edilmiştir. Her bir örnek için bu standart eğri kullanılarak MSN üzerindeki NAR miktarı (µg/mg) hesaplanmıştır.

En yüksek yükleme kapasitesine sahip olan örnek grubu, XRD analizine tabi tutulmuş ve yüklenen ilaç moleküllerinin suda çözünürlüğünün arttığını gösterebilecek amorf yapıların bulunup bulunmadığı değerlendirilmiştir (Hussein & Mahmood, 2014). Buna ek olarak, en yüksek NAR yüklenmesine sahip örnek grubunun hidrodinamik çapı ve zeta potansiyeli HEPES tamponu içerisinde analiz edilmiş; mikroiğne sisteminde kullanılacak olan polimer içerikleriyle uyumluluğu ve arıtılabilirliği belirlenmiştir.

2.3. MSN-NAR Entegre Edilmiş Mikroiğnelerin Hazırlanması

Mikroiğne üretimi için, polivinil alkol (PVA), %20 ağırlık/hacim önceliği ile damıtılmış su içinde çözdürülmüştür (Bediz vd., 2014; Ziesmer vd., 2023). İçerisine polivinilpirolidon katlandırması yapılarak elde edilen mikroiğnelerin mekanik dayanımları artırılması sağlanmıştır. Bunun için literatürden destekle PVA'nın ağırlığına oranla (PVA: PVP; 7.5:2.5) polimer solüsyonu hazırlanmıştır (Alkhiro & Ghareeb, 2020). Ağırlıkça MSN nanopartikülleri, partikül kütlesine göre %10, %25, %50 ve %100 (w/w) hazırlanmış naringenin-siklohekzan çözeltileri ile karıştırılmıştır. Karışım, sonikasyon işlemine tabi tutuldu ve elde edilen karışım, oda sıcaklığında 24 saat boyunca vortex cihazında karıştırılmıştır. Yükleme işleminin ardından süspansiyon 5000 rpm'de 10 dakika

santrifüjlenerek çöktürüldü; elde edilen çökelti bir kez siklohekzan ile yıkandı ve vakum altında kurutulmuştur.

Farklı konsantrasyonlarda gerçekleştirilen naringenin yüklemeleriyle elde edilen MSN-NAR örneklerinin adsorpsiyon izoterm eğrileri oluşturulmuş ve en yüksek yükleme miktarına sahip örnekler belirlenmiştir. Bu örnekler, çalışmanın ileri aşamalarında kullanılmak üzere ayrılmıştır.

2.4. Mikroiğnelerin Karakterizasyonu

2.4.1. Mikroiğnelerin Uygulandığı Deri Modelinin Oluşturulması

Belirli miktarda jelatin saf suda eritildikten sonra, %0,8 sukroz, %0,002 sodyum aljinat ve %0,3 PEG 400 ilave edilerek %15'lik bir jelatin çözeltisi (% w/v) hazırlanmıştır. Bu karışım kalıba dökülüp oda sıcaklığında katılaşması sağlanarak cilt modeli oluşturulmuştur. Mikroskop yardımıyla cilt modellemesi görüntüsü alınmıştır (Yan vd., 2024).

2.4.2. Delme Testi

Burada, literatürden yararlanılarak cilt teması sonrası iğnelerin deri katmanların da ne kadar penetre olduğunu incelemek için iki farklı mikroiğnenin insan derisini taklit eden sekiz katmanlı parafilm modelindeki penetrasyon verimliliğini değerlendirilmiştir. Her bir mikroiğne örneği, sabit bir kuvvet uygulanarak 8 katmanlı parafilm üzerine 30 saniye süreyle uygulanmıştır. Süre sonunda mikroiğne modelden çıkarıldı ve her bir parafilm katmanındaki penetrasyon seviyesi optik mikroskop ile incelenmiştir. Mikroiğnenin ulaştığı maksimum katman ve penetrasyon yoğunluğu kaydedilmiş ve aynı protokol ikinci mikroiğne için de uygulanmıştır (Shahriari vd., 2024).

$$\text{Verimlilik (\%)} = \frac{filmdeki\ delik\ sayısı}{total\ delik\ sayısı(400)} \times 100$$

2.4.3. Bozunma Testi

Üretilen çözünür mikroiğnelerin degradasyon davranışını incelemek için, CMMT yöntemi kullanılarak çeşitli örnekler hazırlandı. Bu örnekler, fizyolojik pH 7,4 değerine sahip fosfat tamponlu salin (PBS) çözeltisine daldırıldı ve belirli zaman aralıklarında (5,15 dk) alınan örnekler kurutulup tartılarak zamanla degradasyon miktarı belirlendi. Degradasyon davranışı, aşağıdaki denklem kullanılarak nicel hale getirilmiştir. Burada W0 kuru mikroiğnenin başlangıç ağırlığını, WD ise t anındaki degradasyona uğramış mikroiğnenin kurutulmuş ağırlığını temsil etmektedir (Shahriari vd., 2024).

$$\text{Degradasyon Oranı (\%)} = \frac{W0 - WD}{W0} \times 100$$

2.4.4. Yapısal Bütünlük Testi

Hazırlanan mikroiğne modellerinin deri ile teması sonrasında yapısal bütünlüğü ile ilgili incelemeler yapmak için literatürden faydalanarak her bir mikroiğne örneği, bu proje için hazırlanmış deri modellemesi örneğine 10 sn boyunca uygulanmıştır ve iğne deri modelinden çıkartıldıktan sonra optik mikroskop yardımı ile iğne görüntülenmiştir (Shahriari vd., 2024).

2.4.5. Cilt Tahrişi Testi

Mikroiğnelerin cilt ile teması ve sonrasındaki süreçte cilt bariyerindeki değişimleri görmek için detaylı incelenmesinde farklı karakterizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi mikroiğnelerin cilt ile temasından sonraki süreci ve iyileşmeyi değerlendirmek amacıyla, hazırlanan cilt modeline uygulanmıştır ve mikroiğneler tamamen penetre edildikten sonra 30 saniye boyunca ciltte kalması sağlanmıştır. Ardından mikroiğneler çıkartılarak cildin zaman içindeki iyileşme süreci mikroskop yardımı ile izlenip kaydedilmiştir (Yan vd., 2024).

2.4.6. Çözünme Testi

Mikroiğnelerin cilt temasından sonraki süreçte çözünmesinin zamana bağlı bozunmasını değerlendirmek amacıyla 1 saat süresince bir çözünme testi gerçekleştirildi. Çözünür mikroiğne yaması, cilt örneklerine uygulanmış ve belirlenen zaman aralıklarında (5, 15 ve 30 dakika) optik mikroskop kullanılarak görüntülenmiştir (Shahriari vd., 2024).

2.5. Mikroiğnelerden İlaç Salım Profilinin İncelenmesi

Mikroiğnelerden NAR salımının incelenmesi için modifiye edilmiş bir çözünme yöntemi kullanılmıştır (Alkhiro & Ghareeb, 2020; Larrañeta vd., 2016). Bu amaçla mikroiğneler membran yüzeyine sabitlenmiş ve salım ortamı olan fosfat tamponuna daldırılmıştır. Bu aşamada, mikroiğnelerin salım yapacağı ortam 36 °C'de tutulmuş ve 50 rpm'lik karıştırma hızında karıştırılmıştır. İlaç salımı takibi 30 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Elde edilen salım ortamı örneklerinde, NP'ların polimer yapılarının interferansından kurtulmak amacıyla örnekler filtrelenmiş ve ardından spektrofotometrik analize alınmıştır. İncelemelerde beherden 5 ml'lik numune çıkarılmış ve yerine taze 5 ml tampon eklenmiştir. Son olarak, kümülatif ilaç salım yüzdesi hesaplanmıştır.

3. Deneysel Sonuçlar

3.1. Nanoparçacık Zeta ve DLS Ölçümleri

Çizelge 3.1. MSN nanoparçacıklarının hidrodinamik çapı ve zeta potansiyel değeri, nanoparçacıkların stabilitesini ve dağılım özelliklerini ortaya koymuştur. Farklı NAR konsantrasyonları ile gerçekleştirilen yükleme çalışmaları, naringeninin MSN'lere başarılı bir

şekilde yüklendiğini göstermiştir. Yükleme sonrasında gözlemlenen boyut artışı sebebinin üzerine yüklenen NAR kaynaklı olduğunu doğrulamaktadır.

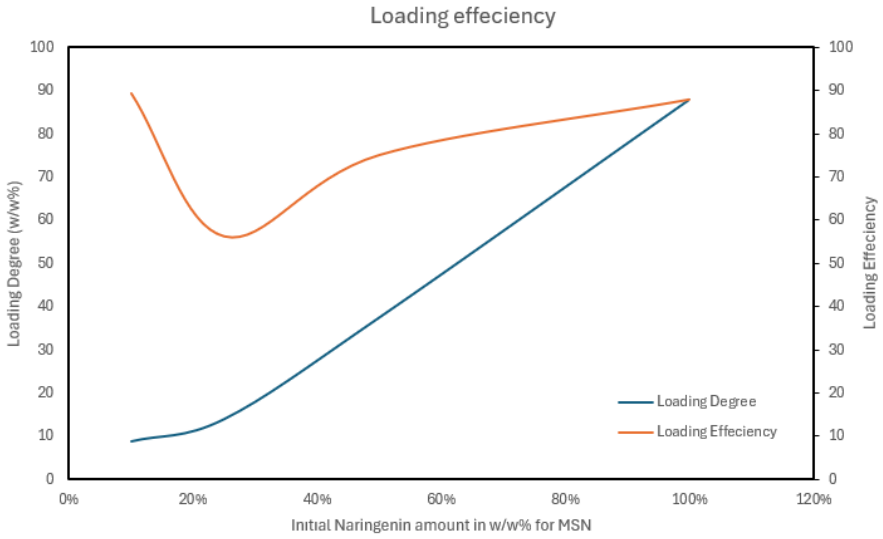
Çizelge 3.1. MSN nanoparçacığına ait zeta potansiyel ve DLS ölçümleri

Örnekler	**Hidrodinamik çap (nm)±SS/ PDI (%)**	**ζ-potansiyel değeri (mV)±SS**
MSN	301,2±8,02/ 15,6	-25,4±0,6
%10 MSN-NAR	289±287/ 9,8	-25,3±0,1
%25 MSN-NAR	712,5± 193,63/ 308,4	-23,9±0,5
%50 MSN-NAR	916,4±680,9/ 30,9	-23,9±0,5
%100 MSN- NAR	1343,7±680,9/ 28,7	-25,2±0,3

3.2. Naringenin Yükleme Verimliliği

PVA: PVP; 7.5:2.5 oranların birleştirme yapılarak hazırlanan mikroiğneler (Alkhiro & Ghareeb, 2020). Ağırlıkça MSN nanopartikülleri, partikül kütlesine göre %10, %25, %50 ve %100 (w/w) hazırlanmış naringenin-siklohekzan çözeltileri ile karıştırılmıştır.

Görsel 1 de farklı konsantrasyonlarda gerçekleştirilen naringenin yüklemeleriyle elde edilen MSN-NAR örneklerinin adsorpsiyon izoterm eğrileri oluşturulmuş ve en yüksek yükleme miktarına sahip %25 lik yüklenme oranı çalışma da kullanılmak için uygun görülmüştür.

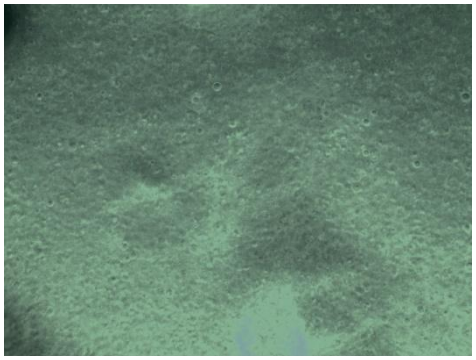


Görsel 1. Naringenin yükleme verimliliği

3. 3 Mikroiğnelerin Karakterizasyonu

3.3.1 Mikroiğnelerin Uygulandığı Deri Modeli

Mikroiğnelerin uygulandığı deri modeli görüntüsü (Görsel 2) optik mikroskop altında gözlemlenmiş iğne uygulaması sonrası sonuçlarla karşılaştırmak için referans olarak kullanılmıştır.

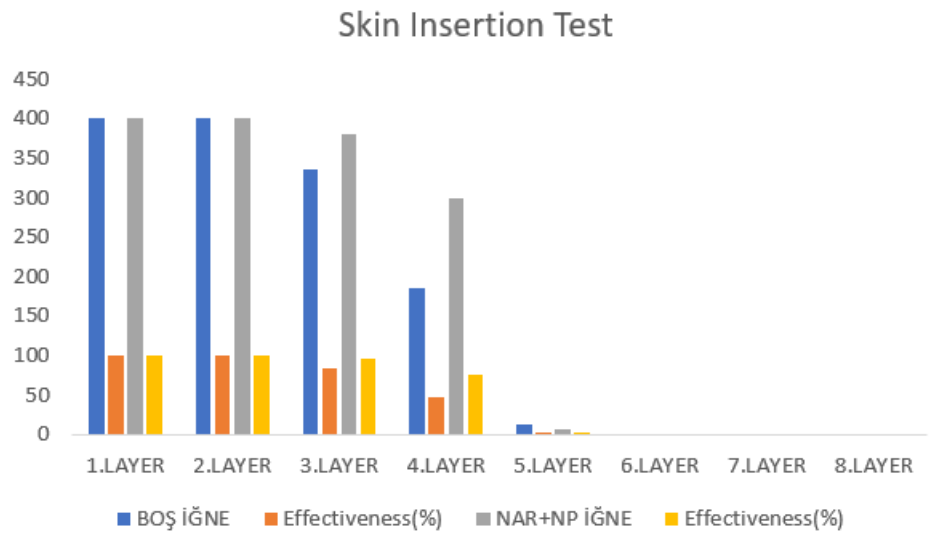


Görsel 2. Mikroiğnelerin uygulandığı deri modelinin optik mikroskop görüntüsü.

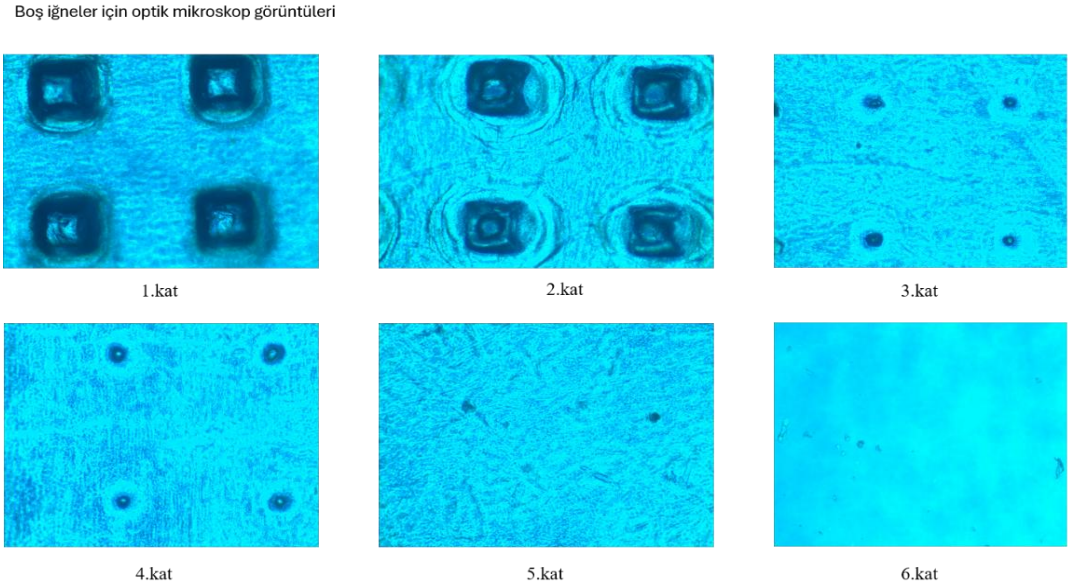
3.3.2 Delme Testi (Etkinlik (%))

Cilt delme testi hem boş hem de naringenin yüklü mikroiğnelerde üçüncü katmana kadar %90'ın üzerinde etkinlik göstererek başarılı bir şekilde etki etmiştir (Görsel 4 ve Görsel 5). Görsel 3'de görüldüğü gibi NAR yüklü mikroiğnelerde, boş olanlara kıyasla delinme derinliğinde bir miktar azalma gözlense de transdermal ilaç iletimi için yeterli penetrasyon sağlanmıştır. Dördüncü

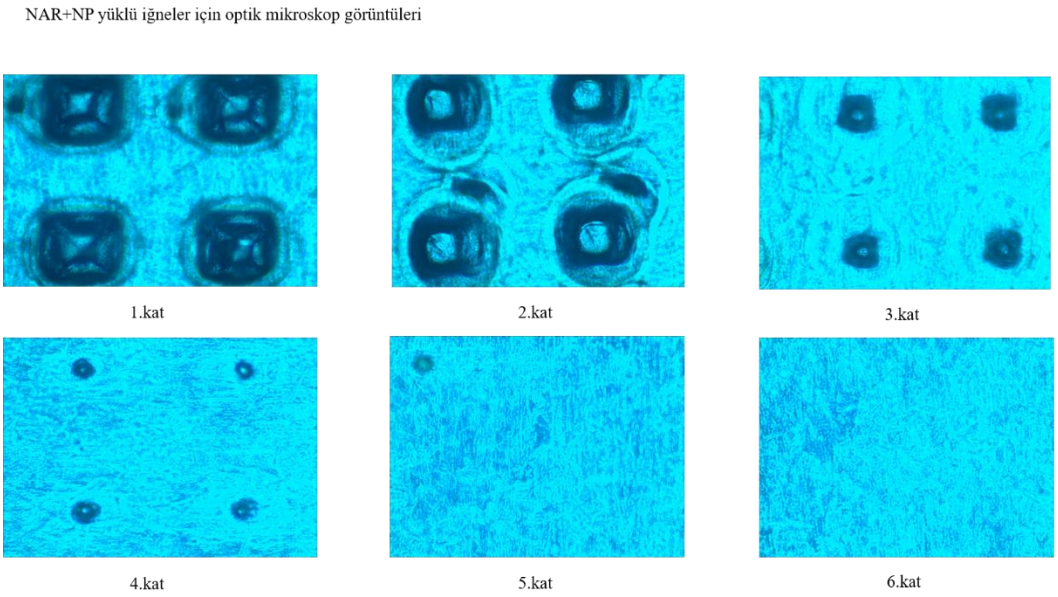
katmandan sonra delinme belirgin şekilde azalmış olup, mikroiğnelerin yüzeyel cilt katmanlarında etkili olacak şekilde tasarlandığı anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar, geliştirilen mikroiğne sisteminin kontrollü ve lokalize ilaç salımı için mekanik olarak uygun ve güvenli olduğunu doğrulamaktadır.



Görsel 3. İki farklı iğneye uygulanan delme testi etkinliği



Görsel 4. Delme testi amacıyla boş mikroiğnelerin uygulanmasından sonra deri modelinin her bir katmanına ait optik mikroskop görüntüleri.



Görsel 5. Naringenin yüklü mezoporlu silika nanoparçacıkları (NAR+NP) içeren mikroiğnelerin uygulanmasından sonra deri modelinin her bir katmanına ait optik mikroskop görüntüleri.

3.3.3. Degradasyon Oranı (%)

Bozunma testleri, mikroiğnelerin fizyolojik koşullarda zamanla nasıl degrade olduğunu göstermiştir. Mikroiğne örnekleri fizyolojik pH 7,4 değerine sahip fosfat tamponlu salin (PBS) çözeltisin de 5 ve 15 dk alınan örnekler kurutulup tartılarak zamanla degradasyon miktarı belirlenmiştir ve Çizelge 3.2'de gözlemlenen sonuçlara göre mikroiğnelerin kontrollü ilaç salımı için uygun bozunma profiline sahip olduğunu doğrulamaktadır.

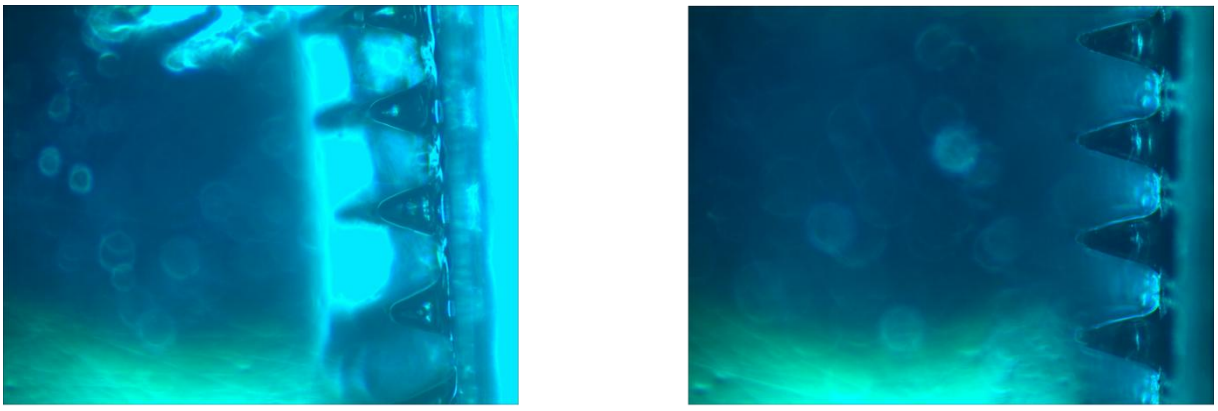
Çizelge 3.2. İki farklı iğne türünün 5 ve 15.dk daki bozunma yüzdeleri

Süre (dk)	Mikroiğne	Başlangıç ağırlığı(g) (W0)	Kuru ağırlığı(g) (WD)	Bozunma(%)
5	Boş	0,06	0,05	14,71
5	MSN-NAR	0,03	0,02	31,21

15	Boş	0,03	0,01	83,43
15	MSN-NAR	0,05	0,01	79,86

3.3.4 Yapısal Bütünlük Testi

Mikroiğneler deri modellemesi örneğine 10 sn boyunca uygulanmış ve sonrasında deri modelinden çıkartılmıştır. Optik mikroskop yardımı ile Görsel 6'daki gibi mikroiğnelerin görüntüleri elde edilmiş olup uçlarında kırılma ya da bükülme olmadan morfolojisini koruduğunu göstermiştir ayrıca bozunmanın uçlardan başlaması da sistemin güvenli bir şekilde kullanılabileceğini ve ciltte istenmeyen kalıntılar bırakmadığını da ortaya koymaktadır.

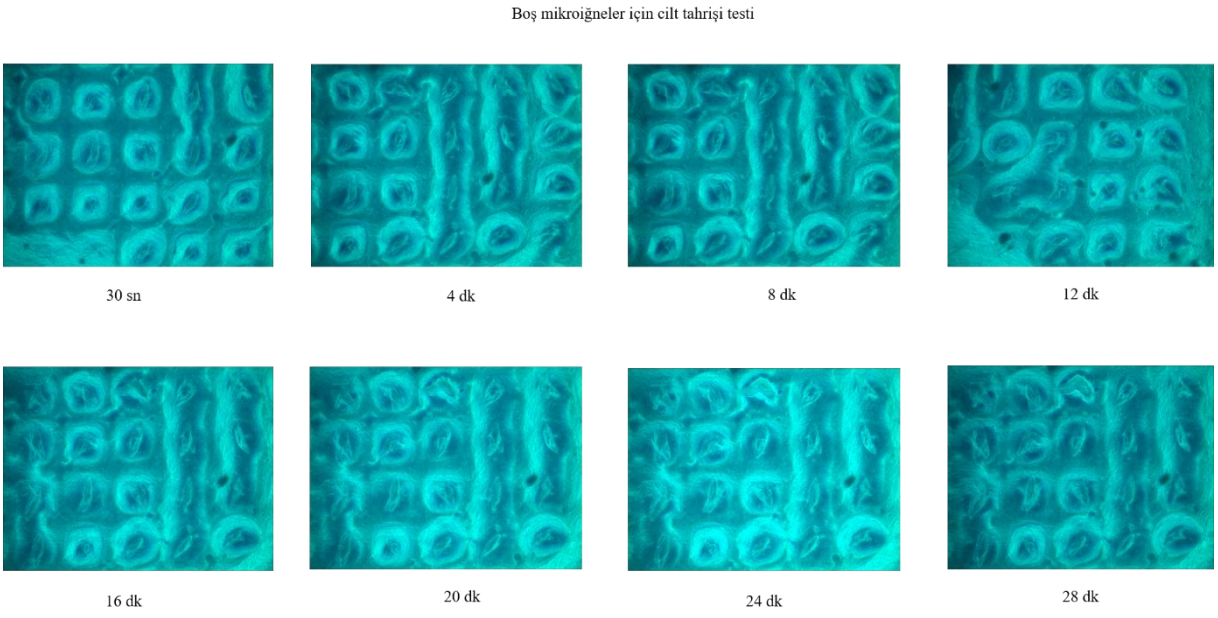


Boş iğne Nar+Np Yüklü iğne

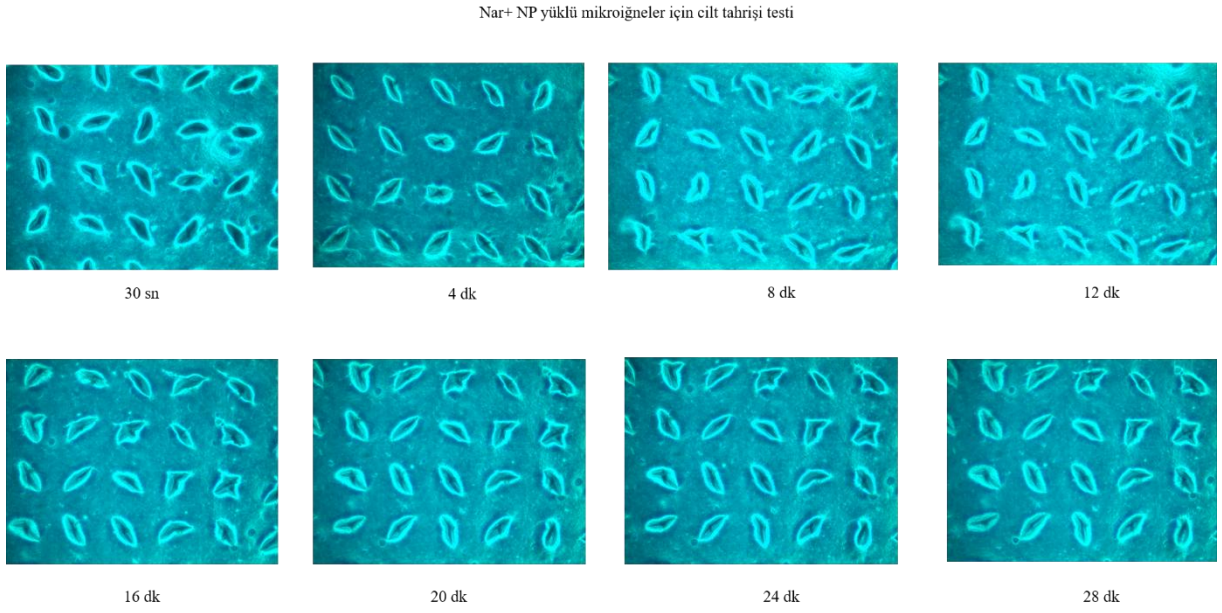
Görsel 6. Boş mikroiğne ve Nar+NP yüklü iğne uygulamasını ardından optik mikroskop altında görüntülenen mikroiğne yapısı

3.3.5. Cilt Tahrişi Testi

Mikroiğneler cilt modellemesi 30 saniye boyunca uygulandıktan sonra optik mikroskop yardımı ile alınan görüntüler Görsel 7 ve Görsel 8'de ki gibi ilk dakikalarda oluşan mikro deliklerin zamanla iyileştiği özellikle 28 dakika da iyileşmenin tamamen gerçekleştiği görülmüştür. Ayrıca MSN- Nar ile yapılan uygulamanın boş iğne ile benzerlik göstermesi ilaçtan ve MSN nanopartikülden kaynaklı olumsuzluk yaşanmadığını da göstermiştir. Sonuç olarak bu durum sistemin yüksek biyouyumluluğa sahip olduğunu göstermiştir.



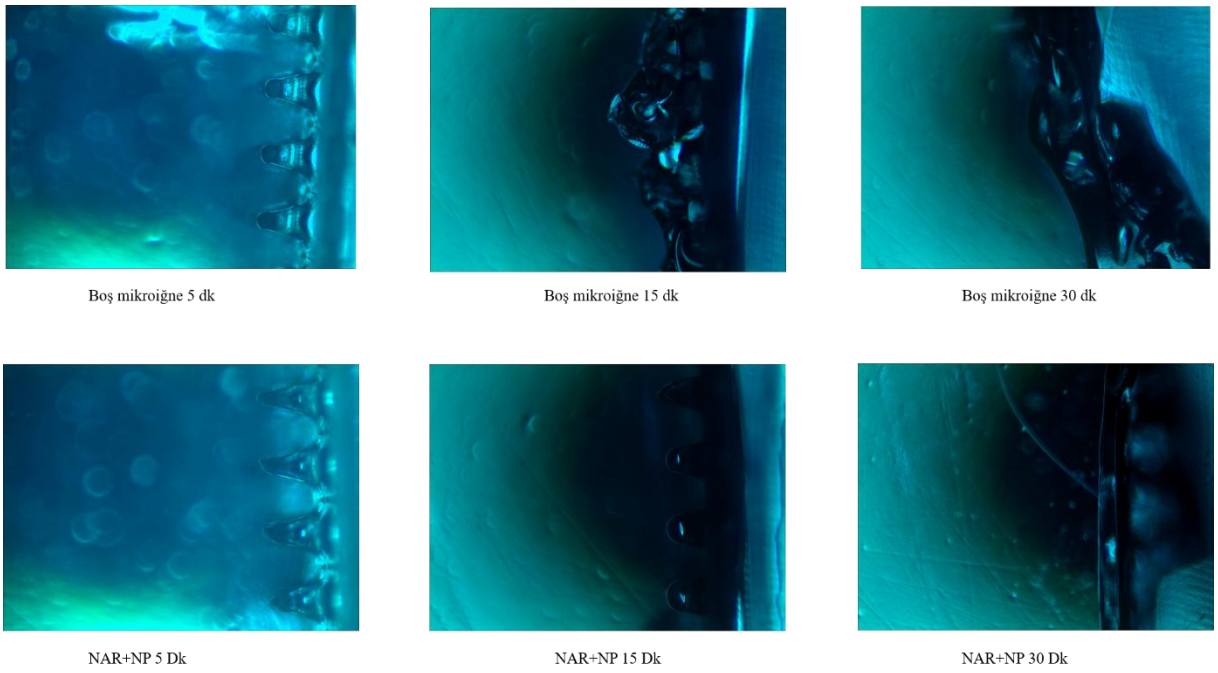
Görsel 7. Boş mikroiğne yamasının, hazırlanmış yapay cilt modeline uygulanmasından sonra ciltte oluşan deliklerin zamana bağlı iyileşme sürecine ait optik mikroskop görüntüleri.



Görsel 8. Naringenin yüklü mikroiğne yamasının, hazırlanmış yapay cilt modeline uygulanmasından sonra ciltte oluşan deliklerin zamana bağlı iyileşme sürecine ait optik mikroskop görüntüleri

3.3.6. Çözünme Testi

Mikroiğneler cilt örneklerine uygulanmış ve belirlenen zaman aralıklarında (5, 15 ve 30 dakika) optik mikroskop kullanılarak görüntülenmiştir. Mikroiğnelerin hedeflenen zaman diliminde tamamen çözünmesinin kademeli olarak gerçekleşmesi (Görsel 9), mikroiğnelerin kontrollü ve kademeli ilaç salımı yapabildiğini gösterir. Bu durum farmakolojik etkinliğin uzaması ve yan etkilerin azalması açısından avantaj sağlar.



Görsel 9. Hazırlanan yapay cilt modeline uygulanan boş mikroiğne yamasının, farklı uygulama süreleri (5, 15 ve 30 dakika) sonrasında elde edilen mikroiğne görüntülerine ait optik mikroskop görüntüleri.

4. SONUÇ

Bu çalışma, Polikistik Over Sendromu (PKOS) tedavisine yönelik olarak tasarlanan naringenin yüklü mezopöröz silika nanoparçacıkları (MSN) içeren çözünür mikroiğne sisteminin başarıyla üretildiğini ve değerlendirildiğini ortaya koymuştur. Mikroiğneler, cilt benzeri model üzerinde yeterli mekanik dayanım göstererek başarılı bir şekilde penetre olmuş ve zamanla etkin bir şekilde

çözünmüştür. Boş ve naringenin yüklü mikroiğne görüntüleri, optik mikroskop ile doğrulanmış ve yapı bütünlüklerinin korunduğu gözlemlenmiştir. Uygulama sonrası 28. dakikaya kadar cilt iyileşmesinin izlenmesi, dokuda minimum hasar oluştuğunu ve sistemin yüksek biyouyumluluk gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, 5., 15. ve 30. dakikalarda gözlemlenen kademeli çözünme, kontrollü ilaç salımı potansiyelini desteklemektedir. Bu sistem, naringenin'in farmakokinetik sınırlamalarını aşmak için yenilikçi, hasta dostu ve minimal invaziv bir alternatif sunabilir. Gelecek çalışmalarda, sitotoksisite çalışmaları L929 hücre hattı kullanılarak ISO 10993-5 standartlarına uygun olarak yürütülecektir. In vivo doğrulamalar ve terapötik etkinlik üzerine odaklanılması planlanmaktadır.

5.TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilim Akademisi, Üstün Genç Bilim İnsanı Ödül Programı (TUBA-GEBIP23) tarafından desteklenmektedir. TÜBİTAK 2209-A proje fon desteği için teşekkür ederiz.

KAYNAKÇA

Alkhiro, A. R., & Ghareeb, M. M. (2020). Formulation and evaluation of iornoxicam as dissolving microneedle patch. *Iraqi J Pharm Sci*, *29*(1), 184-94.

Azziz, R., Carmina, E., Chen, Z., Dunaif, A., Laven, J. S., Legro, R. S., ... & Yildiz, B. O. (2016). Polycystic ovary syndrome. Nature reviews Disease primers, 2(1), 1-18.

Baghirov, H., Karaman, D., Viitala, T., Duchanoy, A., Lou, Y. R., Mamaeva, V., ... & Rosenholm, J. M. (2016). Feasibility study of the permeability and uptake of mesoporous silica nanoparticles across the blood-brain barrier. *PLoS One*, *11*(8), e0160705.

Bediz, B., Korkmaz, E., Khilwani, R., Donahue, C., Erdos, G., Falo, L. D., & Ozdoganlar, O. B. (2014). Dissolvable microneedle arrays for intradermal delivery of biologics: fabrication and application. *Pharmaceutical research*, *31*, 117-135.

Bhia, M., Motallebi, M., Abadi, B., Zarepour, A., Pereira-Silva, M., Saremnejad, F., ... & Shakibaei, M. (2021). Naringenin nano-delivery systems and their therapeutic applications. *Pharmaceutics*, *13*(2), 291.

Dao, L., Chen, S., Sun, X., Pang, W., Zhang, H., Liao, J., ... & Pang, J. (2023). Construction and sustained release of konjac glucomannan/naringin composite gel spheres. *Frontiers in Nutrition*, *9*, 1123494.

Desai, D., Karaman, D. S., Prabhakar, N., Tadayon, S., Duchanoy, A., Toivola, D. M., ... & Rosenholm, J. M. (2014). Design considerations for mesoporous silica nanoparticulate systems in

facilitating biomedical applications. *Open Material Sciences*, *1*(1).

Escobar Morreale, H. F. (2008). Polycystic ovary syndrome: treatment strategies and management. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, *9*(17), 2995-3008.

Greco, S., Pellegrino, P., Zannotti, A., Delli Carpini, G., Ciavattini, A., Reis, F. M., & Ciarmela, P. (2021). Phytoprogestins: unexplored food compounds with potential preventive and therapeutic effects in female diseases. *Nutrients*, *13*(12), 4326.

Halder, J., Gupta, S., Kumari, R., Gupta, G. D., & Rai, V. K. (2021). Microneedle array: applications, recent advances, and clinical pertinence in transdermal drug delivery. *Journal of Pharmaceutical Innovation*, *16*, 558-565.

Hortu, İ., & Karadaş, N. (2019). Polikistik over sendromu patofizyolojisi. *Turkiye Klinikleri Gynecology Obstetrics-Special Topics*, *12*(5), 6-9.

Ibrahim, A. H., Smått, J. H., Govardhanam, N. P., Ibrahim, H. M., Ismael, H. R., Afouna, M. I., ... & Rosenholm, J. M. (2020). Formulation and optimization of drug-loaded mesoporous silica nanoparticle-based tablets to improve the dissolution rate of the poorly water-soluble drug silymarin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, *142*, 105103.

Karaman, D. Ş., Sarwar, S., Desai, D., Björk, E. M., Odén, M., Chakrabarti, P., ... & Chakraborti, S. (2016). Shape engineering boosts antibacterial activity of chitosan coated mesoporous silica nanoparticle doped with silver: a mechanistic investigation. *Journal of Materials Chemistry B*, *4*(19), 3292-3304.

Patra, D., Karaman, D. Ş., Desai, D., El Khoury, E., & Rosenholm, J. M. (2016). Preparation of curcumin loaded mesoporous silica nanoparticles: determining polarizability inside the mesopores. *Materials Research Bulletin*, *84*, 267-272.
Prausnitz, M. R., Mikszta, J. A., Cormier, M., & Andrianov, A. K. (2009). Microneedle-based vaccines. *Vaccines for Pandemic Influenza*, 369-393.

Rashid, R., Tripathi, R., Singh, A., Sarkar, S., Kawale, A., Bader, G. N., ... & Jha, R. K. (2023). Naringenin improves ovarian health by reducing the serum androgen and eliminating follicular cysts in letrozole-induced polycystic ovary syndrome in the Sprague Dawley rats. *Phytotherapy Research*, *37*(9), 4018-4041.

Sarazen, M. L., & Jones, C. W. (2017). Insights into azetidine polymerization for the preparation of poly (propylenimine)-based CO2 adsorbents. *Macromolecules*, *50*(23), 9135-9143.

Senthilkumar, R., Karaman, D. Ş., Paul, P., Björk, E. M., Odén, M., Eriksson, J. E., & Rosenholm, J. M. (2015). Targeted delivery of a novel anticancer compound anisomelic acid using chitosan-coated porous silica nanorods for enhancing the apoptotic effect. *Biomaterials science*, *3*(1), 103-111.

Shahriari, M. H., Salmani, H., Akrami, M., & Salehi, Z. (2024). Development of a facile, versatile and scalable fabrication approach of solid, coated, and dissolving microneedle devices for transdermal drug delivery applications. *Giant*, *18*, 100284.

Sharma, S., Hafeez, A., & Usmani, S. A. (2022). Nanoformulation approaches of naringenin-an updated review on leveraging pharmaceutical and preclinical attributes from the bioactive. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, *76*, 103724.

Sudhakaran, G., Babu, S. R., Mahendra, H., & Arockiaraj, J. (2023). Updated experimental cellular models to study polycystic ovarian syndrome. *Life Sciences*, *322*, 121672
Velija-Ašimi, Z. (2013). Evaluation of endocrine changes in women with the polycystic ovary syndrome during metformin treatment. *Bosnian Journal of basic medical sciences*, *13*(3), 180.

Yan, Q., Shen, S., Liu, L., Weng, J., Zheng, G., Dong, X., ... & Xie, J. (2024). Fabrication of controlled porous and ultrafast dissolution porous microneedles by organic-solvent-free ice templating method. *International Journal of Pharmaceutics*, *660*, 124220.

Ziesmer, J., Larsson, J. V., & Sotiriou, G. A. (2023). Hybrid microneedle arrays for antibiotic and near-IR photothermal synergistic antimicrobial effect against Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus. *Chemical Engineering Journal*, *462*, 142127.

QUALITY OF LIFE IN OLDER ADULTS AND AN EXAMINATION OF THE INFLUENCING FACTORS

Master Student, Elif Nisa KARA

Selcuk University, Institute of Health Sciences, Department of Public Health Nursing,

Konya, Türkiye

elifnisakara99@gmail.com, **https://orcid.org/0000-0003-2988-7787**

Assoc. Prof., Alime SELÇUK TOSUN

Selcuk University, Faculty of Nursing,

Konya, Türkiye

alimetosun@selcuk.edu.tr, **https://orcid.org/0000-0002-4851-0910**

ABSTRACT

Aim: This study aims to examine the factors affecting the quality of life in elderly individuals and to contribute to the development of relevant healthcare services.

Materials and Methods: In this research, a literature review was conducted using the keywords "Older Adults," "Elderly Individuals," "Quality of Life," and "Nursing" in both Turkish and English. The databases Google Scholar, PubMed, Science Direct, Web of Science, and Scopus were searched for English and Turkish full-text articles published between 2020 and 2025.

Results: The studies reviewed reveal that the factors influencing the quality of life in elderly individuals are highly diverse and multidimensional. Physical health status, presence of chronic illnesses, level of functional independence, and the ability to perform daily living activities are among the most significant factors affecting quality of life. In addition, psychological well-being, levels of depression and anxiety, presence of social support, family relationships, feelings of loneliness, and economic adequacy are found to play a critical role as socio-psychological determinants of quality of life. Furthermore, demographic and environmental factors also significantly influence quality of life. High levels of social participation, adoption of an active lifestyle, and regular health check-ups stand out as positive contributors to improved quality of life.

Conclusion: Improving the quality of life in elderly individuals requires a holistic approach. The findings indicate that quality of life is adversely affected not only by health problems but also by social isolation, low income levels, and inadequate social support. Accordingly, health policies aimed at improving the quality of life for elderly individuals should focus on expanding preventive healthcare services and strengthening social support systems. Additionally, encouraging active participation in society and supporting mental health are critically important for maintaining quality of life. In conclusion, enhancing the quality of life in elderly individuals is a public health priority that must be addressed through a multidisciplinary approach at both individual and societal levels.

Keywords: Older Adults, Elderly Individuals, Quality of Life, Nursing.

INTRODUCTION

According to the World Health Organization (WHO 2024), biological aging is defined as the gradual decline in physiological and mental capacity, an increased risk of diseases, and ultimately, death. Similar to global trends, the proportion of the elderly population in Turkey is steadily rising (TURKSTAT 2024). According to the United Nations (2023) projections, the global population of individuals aged 65 and over, which constituted 10.2% in 2021, is expected to reach 1.6 billion by 2050 (United Nations 2023). For example, OECD (2023) data indicate that the share of this age group in the population is 29.8% in Japan, and 24.5% in both Italy and Portugal (OECD 2023). A similar aging trend is observed in Turkey. Based on TURKSTAT (2024) data, the elderly population reached 8.7 million in 2023, accounting for 10.2% of the total population. This number increased to 9.1 million in 2024, raising the proportion to 10.6%. Demographic projections for Turkey indicate that the proportion of individuals aged 65 and over will reach 12.9% by 2030 and 16.3% by 2040 (TURKSTAT 2024, TURKSTAT 2025). This growing elderly population reveals the need to reshape healthcare and social services, emphasizing the increasing importance of the concept of quality of life.

Quality of life is a multidimensional concept that encompasses the physical and mental health, social relationships, and overall life satisfaction of older adults (Chi et al. 2022, Geigl et al. 2023). The primary factors affecting quality of life in older age include physical health status, functional capacity, and cognitive functioning. Chronic diseases, pain, functional dependency, and cognitive decline can have significantly negative impacts on quality of life (Noto, 2023). However, the quality of life in the elderly is influenced not only by biological factors but also by psychosocial and socioeconomic determinants (Jutengren & Stahl, 2024). Positive social relationships, strong social support networks, and community engagement can significantly enhance quality of life by reducing social isolation and increasing the sense of belonging (Marzo et al. 2023, ODPHP 2025). In light of this information, understanding the factors that affect the quality of life of the elderly population is crucial for developing effective strategies that address the unique needs of older adults. This study aims to contribute to the improvement of related healthcare services by examining the factors that influence the quality of life among elderly individuals.

METHOD

In this study, a literature review was conducted using the keywords "Older Adults, Elderly Individuals, Quality of Life, Nursing" and their Turkish equivalents "Yaşlılık, Yaşlı Bireyler, Yaşam Kalitesi, Hemşirelik." The databases used for the search included Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, Web of Science, and Scopus. Full-text articles published in English and Turkish between 2020 and 2025 were reviewed.

RESULTS

The study conducted by Newman et al. (2022) aimed to examine the effects of social isolation on the quality of life of older adults. Specifically, the study investigated how cognitive functioning, physical health, and psychological well-being are influenced among socially isolated elderly individuals. Focusing on a group of older adults, the study highlighted the impact of social isolation on various components of quality of life. The findings revealed that social isolation negatively affects the quality of life of older adults. Socially isolated elderly individuals were found to have lower cognitive functioning, poorer physical health outcomes, and higher rates of depression and anxiety. These results emphasize the importance of intervention programs aimed at preventing and reducing social isolation among older adults (Newman et al. 2022).

Goyal and Mohanty (2022) conducted a study to examine the relationship between the presence and intensity of pain and quality of life among middle-aged and older adults in India. The study focused on how pain influences dimensions of quality of life, including physical health, psychological well-being, social relationships, and overall life satisfaction. Conducted with 2,056 participants aged 45 and above, the study found a significant negative relationship between pain and quality of life. Individuals with chronic pain had significantly lower quality of life scores compared to those without pain, and higher pain intensity was associated with further deterioration in quality of life. Notably, pain had adverse effects on physical functions, social activities, and mental health (Goyal and Mohanty 2022).

Geigl et al. (2023) aimed to investigate socio-demographic, socioeconomic, psychosocial, and behavioral factors affecting health-related quality of life in older adults. This study was conducted with 1,687 participants aged 65 and above living in Germany. The results indicated that factors such as internal health locus of control, physical activity, social support, income, and alcohol consumption were positively associated with physical and/or mental quality of life. Conversely, external health locus of control, older age, and female gender were found to be negatively associated (Geigl et al. 2023).

The study by Chi et al. (2022) aimed to assess the quality of life of community-dwelling older adults and to identify socio-demographic, health-related, and social factors associated with it. Conducted with 8,922 participants aged 65 and above, the study concluded that quality of life was significantly associated with age, gender, education level, income, marital status, health status (including chronic diseases and physical functionality), and social participation. In particular, better health status, higher income, and active social participation were reported to be associated with higher quality of life. These findings provide important insights for the development of public health interventions and policies to improve the quality of life among older adults (Chi et al. 2022).

The study by Aggarwal et al. (2020) aimed to synthesize and present the impact of internet use on the quality of life of older adults by reviewing the existing literature. As this was a literature review, there was no specific participant count; instead, the study compiled findings from various research

to reach a general conclusion. The results indicated that internet use has complex but generally positive effects on the quality of life of older adults. Notably, internet use can enhance well-being by reducing social isolation, increasing access to information, supporting cognitive functions, and assisting in health management. However, the study also noted the potential risks of the digital divide (lack of access or digital skills) and misinformation. Overall, the findings suggest that the internet can be a valuable tool in improving quality of life among the elderly (Aggarwal et al. 2020).

Liu et al. (2024) conducted a study to explore the relationships between age, chronic conditions, geriatric syndromes (frailty, polypharmacy, and malnutrition), and quality of life at a population level. The data from 3,668 older adults were analyzed from a general population of 8,447 individuals aged 65 and above. The study found that multiple chronic conditions were associated with at least one of the examined geriatric syndromes, and these syndromes were highly interrelated and predictive of lower quality of life. Specifically, frailty and polypharmacy were directly associated with decreased quality of life and were also found to mediate one another (e.g., frailty mediated the relationship between polypharmacy and poor quality of life). These findings highlight the importance of early diagnosis and management of geriatric syndromes such as frailty, polypharmacy, and malnutrition in improving health outcomes and quality of life in older adults (Liu et al. 2024).

The study conducted by Lopez et al. (2024) aimed to examine the associations between emotional distress, psychological well-being, and quality of life in older individuals. The study included data from 168 participants aged between 55 and 95. The results revealed that increased levels of emotional distress (e.g., anxiety, depression) were associated with decreased quality of life, whereas higher levels of psychological well-being (e.g., autonomy, personal growth) were linked to better quality of life. These findings suggest that interventions aimed at improving quality of life in older populations should focus both on alleviating negative emotional states and promoting psychological well-being (Lopez et al. 2024).

CONCLUSION

The reviewed studies emphasize the critical role of social factors, health status, and psychological well-being in determining the quality of life among older adults. While reducing social isolation and promoting digital inclusion are essential, effective management of pain and chronic diseases must also be prioritized. Furthermore, early detection and management of geriatric syndromes—such as frailty, polypharmacy, and malnutrition—alongside interventions aimed at alleviating emotional distress and enhancing psychological well-being, are key to improving the overall quality of life for the elderly. In conclusion, enhancing the quality of life in older individuals is a public health priority that requires a multidisciplinary approach at both individual and societal levels. Public health nurses should develop and implement holistic, evidence-based interventions that prevent social isolation, manage chronic health problems, and promote psychological well-

being. Such approaches are expected to contribute significantly to enabling older adults to lead healthier, more active, and more fulfilling lives.

REFERENCES

Aggarwal N, Xiong Q, Schroeder Butterfill E, 2020. Impact of the use of the internet on quality of life in older adults: Review of literature. Primary Health Care Research & Development, 21, e55. https://doi.org/10.1017/S1463423620000584

Chi MJ, Wu CH, Liu CY, 2022. Assessing quality of life with community dwelling elderly adults: A mass survey in Taiwan. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(22), 14621. https://doi.org/10.3390/ijerph192214621

Geigl LC, Loss J, Leitzmann MF, Janssen C, 2023. Social factors of health-related quality of life in older adults: A multivariable analysis. Quality of Life Research, 32(12), 3257–3268. https://doi.org/10.1007/s11136-023-03472-4

Goyal A, Mohanty SK, 2022. Association of pain and quality of life among middle-aged and older adults of India. BMC Geriatrics, 22(1), 939. https://doi.org/10.1186/s12877-022-03480-y

Jutengren G, Stahl C, 2024. Determinants of social loneliness among older adults in job retirement and the role of emotional expressivity. Aging & Mental Health, 28(6), 1153–1161. https://doi.org/10.1080/13607863.2024.2338205

Liu X, Huang Y, Hu J, Zhang L, 2024. Investigating frailty, polypharmacy, malnutrition, chronic conditions, and quality of life in older adults: Large population-based study. JMIR Public Health and Surveillance, 10, e54522. https://doi.org/10.2196/54522

López J, Pérez Rojo G, Noriega C, Sánchez Cabaco A, Sitges E, Bonete B, 2024. Quality of life in older adults: Its association with emotional distress and psychological wellbeing. BMC Geriatrics, 24(1), 815. https://doi.org/10.1186/s12877-024-05401-7

Marzo RR, Khanal P, Shrestha S, Mohan D, Myint KS, Su TT, 2023. Determinants of active aging and quality of life among older adults: Systematic review. Frontiers in Public Health, 11, 1193789. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1193789

Newman-Norlund RD, Newman-Norlund SE, Sayers S, McLain AC, Riccardi N, Fridriksson J, 2022. Effects of social isolation on quality of life in elderly adults. PLoS ONE 17(11): e0276590. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276590

Noto L, 2023. Perspectives on aging and quality of life. Healthcare (Basel), 11(15), 2131. https://doi.org/10.3390/healthcare11152131

OECD, 2023. *Health at a Glance 2023, OECD Indicators*. https://www.oecd.org/health/health-at-a-glance-2023-7a7afb35-en.htm

Office of Disease Prevention and Health Promotion (ODPHP), 2025. *Healthy Aging*. Retrieved June 1, 2025, from https://odphp.health.gov/our-work/national-health-initiatives/healthy-aging

Turkish Statistical Institute (TUIK), 2024. Elderly Population Statistics, 2024. https://www.tuik.gov.tr/

Turkish Statistical Institute (TUIK), 2025. Elderly with Statistics, 2024. Retrieved June 1, 2025, from https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Istatistiklerle-Yaslilar-2024-54079.

United Nations, 2023. World Social Report 2023, Ageing in a Changing World. https://www.un.org/development/desa/dspd/world-social-report/

World Health Organization, 2024. Ageing and health. Retrieved June 1, 2025, from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health

INVESTIGATION OF FACTORS AFFECTING CANCER SCREENING BEHAVIOR IN WOMEN

Master Student, Elif Nisa KARA

Selcuk University, Institute of Health Sciences, Department of Public Health Nursing,

Konya, Türkiye

elifnisakara99@gmail.com, **https://orcid.org/0000-0003-2988-7787**

Assoc. Prof., Alime SELÇUK TOSUN

Selcuk University, Faculty of Nursing,

Konya, Türkiye

alimetosun@selcuk.edu.tr, **https://orcid.org/0000-0002-4851-0910**

ABSTRACT

Aim: This study aims to examine the factors influencing cancer screening behavior in women.

Materials and Methods: In this research, a literature review was conducted using the keywords "Women," "Cancer Screening Behavior," and "Nursing" in both Turkish and English. The databases Google Scholar, PubMed, Science Direct, Web of Science, and Scopus were searched for full-text articles published between 2020 and 2025 in English and Turkish.

Results: Studies on the subject reveal that women's breast and gynecological cancer screening behaviors are influenced by multidimensional factors. Regarding breast cancer, it has been found that the rates of breast self-examination (BSE) and mammography are significantly affected by women's socio-demographic characteristics such as age, education level, income level, and employment status. As education and health literacy levels increase, both the frequency of performing BSE and undergoing mammography increase, whereas these behaviors are observed less frequently among women with low education and those who are unemployed. Additionally, having a family history of breast cancer, ease of access to healthcare services, receiving physician recommendations, and holding positive beliefs about health behaviors are among the factors that enhance screening participation. Women's attitudes toward cancer screening are also associated with their level of health knowledge, previous screening experience, and having received cancer education. Studies on gynecological cancer awareness similarly show that awareness levels are higher among younger women, those who are employed, and individuals with higher education levels.

Conclusion: Based on the findings, programs aimed at increasing women's health literacy, educational initiatives emphasizing the importance of early diagnosis, and public awareness campaigns will be effective in increasing participation in screening. Moreover, it is essential to plan targeted interventions for women with low education and socioeconomic status. Improving

access to the healthcare system, increasing physician recommendations, and fostering a sense of personal responsibility for health among women will support the sustainability of these behaviors. In conclusion, strengthening the factors that positively influence women's screening behaviors and eliminating the barriers are important steps in the fight against cancer.

Keywords: Women, Cancer Screening Behavior, Nursing.

INTRODUCTION

Cancer remains a major public health concern in today's world (Erkılıç and Albayrak 2024). The World Health Organization (WHO) defines cancer as a complex health condition characterized by the rapid and uncontrolled proliferation of cells in nearly all organs of the body, which can also spread to other parts of the body (WHO 2021). Globally, cancer ranks as the second leading cause of death. In Turkey, it similarly ranks second after circulatory system diseases (Oruç et al. 2022, Öztop 2023). According to WHO data from 2019, cancer was reported as one of the top three leading causes of the 55 million deaths that occurred worldwide (WHO 2020).

The International Agency for Research on Cancer (IARC) reported in its 2020 GLOBOCAN report that there were approximately 19.7 million new cancer cases globally and around 10 million cancer-related deaths (GLOBOCAN 2020). Updated data from 2022 indicate that there are approximately 20 million (19,976,499) cancer cases worldwide. Based on demographic projections, the annual number of new cases is expected to rise to 35 million by 2050—an increase of 77% compared to 2022 (Bray et al. 2024). Among the increasing number of cases worldwide, the most common cancer types are lung, breast, and colorectal cancers (Crosby et al. 2022). From a gender-specific perspective, breast cancer is the most frequently diagnosed cancer among women. WHO data from 2018 show that approximately 2.1 million women are diagnosed with breast cancer annually, and 627,000 women die from the disease each year (WHO 2024). Breast cancer remains the most common and the deadliest form of cancer among women both in Turkey and globally. According to data from the Turkish Statistical Institute, one out of every four female cancer cases is diagnosed as breast cancer (TURKSTAT 2020).

The rapidly increasing incidence of cancer worldwide poses a serious threat to public health and healthcare systems. Consequently, one of the most effective strategies in cancer control is early detection and diagnosis (Tunçez et al. 2021). Understanding the prevalence of cancer in society and the key etiological factors that contribute to its development supports more effective implementation of screening, diagnosis, and treatment processes (Yalım and Uysal 2021). Given the severe consequences of cancer, raising awareness and applying early intervention strategies within the framework of a healthy lifestyle is of critical importance. In this context, public awareness and utilization of cancer screening methods play a crucial role in eliminating the disease at an early stage or preventing its progression to more advanced and critical stages (Donar 2021). This study aims to examine the factors influencing cancer screening behavior among women.

METHOD

In this study, a literature review was conducted using the keywords "Kanser," "Kanser Tarama Davranışı," and "Hemşirelik" in Turkish, and "Cancer," "Cancer Screening Behavior," and "Nursing" in English. The databases searched included Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, Web of Science, and Scopus. The review focused on English and Turkish full-text articles published between 2020 and 2025.

RESULTS

A study by Lera et al. (2020) aimed to examine the rates of breast self-examination (BSE) practice and the factors influencing this behavior among women in Ethiopia. This research was conducted with 629 female participants aged 20–65 years residing in Wolaita Sodo, Ethiopia. According to the study findings, the BSE practice rate was determined to be 45%. Factors identified as increasing BSE practice included awareness of BSE as a method for early breast cancer detection, breastfeeding for 13–24 months, employment status, and obtaining information through electronic media. Notably, the perception of BSE as an important method for early detection was found to increase the likelihood of BSE practice by 6.36 times (Lera et al.2020).

The study by Duong et al. (2020) aimed to investigate the factors influencing mammography screening behavior among women living in rural Vietnam. This research was conducted with 120 participants from rural areas. The findings indicated that key factors promoting mammography screening participation included easy access to healthcare services, a high level of health literacy, family support, and physician recommendations. Conversely, major barriers to screening were identified as lack of information, cultural beliefs, economic difficulties, and challenges in reaching healthcare centers (Duong et al. 2020).

Güçlü Demirtaş and Gördes Aydoğdu (2021) conducted a study to examine the effect of poor women's beliefs about breast cancer on their mammography screening behavior. This descriptive study was conducted with 384 participants. The results revealed that illiterate women had lower rates of mammography screening, while women aged 40-49 had higher rates. Having social security was found to increase mammography screening behavior, and an increase in education level was associated with a 5.12-fold increase in mammography screening rates (Güçlü Demirtaş and Gördes Aydoğdu 2021).

In their study, Arı and Kılıç (2022) aimed to evaluate women's attitudes towards cancer and examine the influencing factors. This descriptive research was conducted with 380 volunteer female participants. The study's results indicated that older age, lower education levels, and unemployment among women, as well as the age and education levels of their partners, were associated with more negative attitudes towards cancer. When examining cancer-related characteristics, women with a family history of cancer reported more negative attitudes, while those

who participated in cancer-related educational programs demonstrated more positive attitudes (Arı and Kılıç 2022).

Atlas and Er Güneri (2022) conducted a study to determine women's awareness of gynecological cancers and the factors influencing this awareness. This analytical-cross-sectional study was carried out with 400 female participants. The study found that as women's age groups decreased and their education levels increased, their awareness of gynecological cancers also increased. Women who were employed had higher awareness compared to unemployed women, with civil servants showing the most significant difference. The group with fragmented families reported the highest awareness, and a significant difference was observed between women from extended families and those from nuclear and fragmented families (Atlas and Er Güneri 2022).

This study by Esna Ashari et al. (2022) aimed to determine the factors influencing mammography screening behavior among female teachers in Iran. The research was conducted with 458 female teachers aged 40 years and older. The findings revealed that the likelihood of undergoing mammography varied depending on individual, socioeconomic, and environmental factors. Key factors increasing the probability of mammography screening included being 40 years or older, having a family history of breast cancer, possessing higher education and income levels, having health insurance coverage, residing in a large city, receiving a physician's recommendation, and acting with a sense of personal responsibility for one's health. Additionally, positive health-related behaviors such as regularly performing breast self-examination were also identified as significant elements increasing the likelihood of mammography screening. The main reasons preventing mammography screening included perceiving the screening as unnecessary due to the absence of symptoms, fear of a potentially negative outcome, time constraints, feelings of embarrassment, difficulties in accessing healthcare services, low health literacy, and financial inadequacy (Esna Ashari et al. 2022).

This cross-sectional study conducted by Kadriye Özçelik and Seçginli (2022) examined breast cancer screening behaviors (Breast Self-Examination - BSE and mammography) and the factors influencing these behaviors among women with a family history of breast cancer. The research was carried out with 316 female participants who were relatives of individuals diagnosed with breast cancer. According to the research findings, BSE practice was significantly associated with factors such as women's education level, income status, prior history of breast-related problems, belief in the benefits and reliability of BSE, perceived barriers to BSE, and fear of breast cancer. On the other hand, mammography screening behavior was linked to age, history of breast problems, perceived barriers to mammography, self-efficacy regarding mammography, and fear of breast cancer. The study results indicated that the rates of regularly performing screening behaviors were low among women with a family history of breast cancer. Women who regularly performed BSE generally had higher education and income levels and a history of breast-related health issues. Additionally, women with a bachelor's degree were approximately 7 times more likely to perform BSE compared to those who were only literate, and women with "very good/good" income levels were approximately 5 times more likely to exhibit this behavior compared to those with "very

poor/poor" income levels. Furthermore, women with a history of breast problems were reported to be 6 times more likely to perform regular BSE than those without such a history (Kadriye Özçelik and Seçginli, 2022).

The descriptive and cross-sectional study conducted by Uysal and Ünal Toprak (2022) aimed to determine women's attitudes towards cancer screenings, their health perceptions, and the factors influencing these variables. The study involved 248 female participants. The research findings showed that individuals' knowledge about cancer screenings and their prior history of undergoing cancer screenings were statistically significantly related to their attitudes towards screenings. In this context, women with higher knowledge levels and a history of screenings were found to have higher attitude scores towards cancer screenings. Additionally, health education status, family history of cancer, and knowledge about cancer screenings were identified as important variables affecting women's health perceptions. When examining education level, women with primary school education were found to have significantly lower health perception scores compared to women with higher education levels. The findings indicate that women's health perceptions and attitudes towards cancer screenings vary in accordance with their socio-demographic characteristics and health-related knowledge levels (Uysal and Ünal Toprak 2022).

This cross-sectional study conducted by Cui et al. (2022) aimed to examine the factors influencing cervical cancer screening behaviors among Japanese women in their 20s and 30s. The research was designed within the framework of the Health Belief Model and conducted with 816 female participants. The findings reported that the most significant factors increasing participation in cervical cancer screening were the presence of external cues to action (e.g. informational campaigns by healthcare institutions) and individuals' habit of regular health check-ups. Conversely, perceived barriers prior to screening (e.g. time constraints, embarrassment, fear of pain) were found to have negative effects on screening behavior. Furthermore, some demographic variables, such as having children, were also found to have significant effects on participation in cervical cancer screening (Cui et al. 2022).

The aim of the study conducted by Bayrakçeken et al. (2024) was to identify the risk factors influencing Turkish women's participation in mammography screenings for breast cancer prevention. The study utilized the micro-dataset obtained from the Turkish Health Survey conducted by the Turkish Statistical Institute (TUIK) in 2019 and 2022. The findings showed that the main factors increasing mammography screening rates were a high education level, a family history of breast cancer, easy access to healthcare services, and a doctor's recommendation. In contrast, factors negatively affecting mammography screening participation included lack of knowledge, insufficient perception of the necessity of screening, fear, and lack of social support (Bayrakçeken et al. 2024).

This cross-sectional study conducted by Alkarak et al. (2024) aimed to examine the factors influencing breast cancer screening behaviors among women in Saudi Arabia. The research was conducted with 806 female participants. According to the findings, the primary reason preventing women from performing breast self-examination (BSE) was not feeling any symptoms of a tumor.

This was followed by lack of knowledge about early detection, time constraints, fear of finding a potential tumor, and lack of information about screening centers. However, the main factors positively influencing breast cancer screening behaviors included being 40 years or older, residing in large cities, having a family history of breast cancer, living physically close to a screening center, and having used birth control pills for five years or more. These findings indicate that women's breast cancer screening behaviors are significantly influenced by both individual and environmental factors (Alkarak et al. 2024).

The study by Erkılıç and Albayrak (2024) aimed to determine the relationship between women's health literacy levels and their health beliefs regarding breast cancer screening. This correlational survey was conducted with 766 female participants aged 20 years and older. The study results showed that women with higher health literacy developed more positive attitudes towards breast cancer screening; these women were more willing and conscious about undergoing mammography, performing breast self-examination, and protecting their health. Conversely, among women with low health literacy, inhibitory beliefs regarding mammography and self-examination were more prevalent, which was found to reduce participation in screenings (Erkılıç and Albayrak, 2024).

This analytical-cross-sectional study conducted by Karabaş and Çoban (2024) aimed to determine women's awareness levels regarding gynecological cancers. The research was carried out with 650 female participants aged between 20 and 65 years. The findings indicate that women's awareness of gynecological cancers is significantly influenced by age, education level, employment status, possession of social security, number of pregnancies, menopausal status, knowledge level regarding cancer, and history of undergoing screening tests. The study determined that as the education level increased, the scores on the Gynecological Cancer Awareness Scale (GİKFÖ) also increased. Employed women scored higher than unemployed women, both in total GİKFÖ scores and its subscale scores. Women with social security were also found to have higher GİKFÖ scores. However, it was observed that as the number of pregnancies increased, both the total GİKFÖ score and the subscale scores for "Early Diagnosis and Knowledge Awareness in Gynecological Cancers" and "Awareness of Gynecological Cancer Risks" decreased. Women who had not reached menopause had higher GİKFÖ scores compared to those who had. Furthermore, women who had previously undergone cancer screening had higher GİKFÖ scores; specifically, women who regularly had Pap-smear tests showed statistically significantly higher scores on both total and subscale scores (Karabaş and Çoban 2024).

In the study conducted by Kartal Günen and Kaymak (2025), the aim was to determine women's breast cancer risk levels and their health beliefs regarding breast cancer screening methods. This descriptive-cross-sectional research was conducted with 375 female participants aged 20-69 years. A significant relationship was found between body mass index, education level, and a history of mammography and breast cancer risk. Married women were reported to have higher self-efficacy for Breast Self-Examination (BSE) and higher belief levels regarding the benefits of mammography compared to single women. Additionally, employed women had higher levels of awareness regarding breast cancer; specifically, their scores on "concern-seriousness" and "benefits

of BSE" were reported to be higher than those of unemployed women. Conversely, higher scores on the "susceptibility" and "barriers to BSE" subscales among unemployed women indicate that this group needs more support regarding breast health (Kartal Günen and Kaymak 2025).

CONCLUSION

In conclusion, the effectiveness of early diagnosis and screening programs in the fight against cancer is directly related to women's knowledge levels, health beliefs, and attitudes. The studies conducted demonstrate that, particularly in breast and gynecological cancers, a high level of health literacy and awareness positively influences screening behaviors. Factors such as education level, social security coverage, access to healthcare services, and recommendations from health professionals are among the fundamental elements that increase women's participation in screenings. Conversely, factors like lack of information, fear, embarrassment, financial constraints, and cultural barriers negatively affect screening behaviors.

Accordingly, it is crucial to expand targeted health education programs for women, enhance health literacy, and strengthen awareness campaigns, especially for disadvantaged groups. Culturally sensitive, multi-stakeholder, and sustainable intervention strategies developed by reaching different segments of society will not only increase early detection rates but also reduce the burden on the healthcare system. Supportive policies and practices that enable women to make informed decisions and develop a sense of responsibility for their own health will play a significant role in strengthening public health.

REFERENCES

Alkarak S, Badheeb A M, Al Dowais A, et al. 2024. Factors Affecting Breast Cancer Screening Behavior Among Women in Saudi Arabia: A Retrospective Cross-Sectional Study. Cureus 16(4): e58324. DOI 10.7759/cureus.58324

Arı Ö, Kılıç M, 2022. Investigation of Cancer Attitudes and Affecting Factors of Women Registered In A Family Health Center In Erzurum. Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care, 16(3), 559–573

Atlas B, Er Güneri S, 2022. Awareness of Women About Gynecological Cancers and Factors Affecting This Awareness. Izmir Katip Celebi University Faculty of Health Sciences Journal, 7(1), 77–85

Bayrakçeken E, Yaralı S, Alkan Ö, 2024. Identifying Risk Factors Affecting Turkish Women's Participation in Mammography Screening for Breast Cancer Prevention. Breast Cancer Research and Treatment, 205(3), 487–495. https://doi.org/10.1007/s10549-024-07296-9

Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, Jemal A, 2024. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. CA Cancer J Clin, 74(3):229–263

Cancer Key Facts, WHO 2022. Access address: https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cancer, Access date: 01.06.2025

Crosby D, Bhatia S, Brindle K M, Coussens L M, Dive C, Emberton M, Balasubramanian S, 2022. Early detection of cancer. Science, 375(6586), eaay9040

Cui Z, Kawasaki H, Tsunematsu M, Cui Y, Kakehashi M, 2022. Factors affecting cervical cancer screening behaviors among Japanese women in their 20s and 30s based on the health belief model: A cross-sectional study. Current Oncology, 29(9), 6287–6302

Donar G B, 2021. The relationship between cancer incidence and awareness activities in Turkey and Google online search volume: A retrospective study. Acibadem University Journal of Health Sciences, 12(2), 353–360

Duong L, Chen T, Liu CY, Chiou PY, 2020. Factors influencing mammography screening behavior among Vietnamese women in rural areas. European Journal of Cancer Care, 29(6), e13300. https://doi.org/10.1111/ecc.13300

Erkılıç B, Albayrak S. 2024. The relationship between women's health literacy level and their health beliefs regarding breast cancer screening. Journal of Nursing Research and Development, 26(1), 1–10

Esna-Ashari F, Saffari N, Parsapour H, Rezapur-Shahkolai F, 2022. Factors associated with mammography screening behavior among Iranian women. Asian Pacific Journal of Cancer Prevention, 23(12), 4073–4078

GLOBOCAN, New Global Cancer Data–2020. 2020. Access address: https://www.uicc.org/news/globocan-2020newglobalcancer

Güçlü Demirtaş S, Gördes Aydoğdu N, 2021. The effect of poor women's beliefs on mammography screening behavior regarding breast cancer. Balıkesir Journal of Health Sciences, 10(3):379–385. https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.978173

Karabaş M, Çoban A, 2024. Factors affecting women's awareness regarding gynecological cancers: The case of Denizli province. Anatolian Medical Journal, 3(2), 20–29. https://anadolutibbidergisi.saglik.gov.tr

Kartal Günen H, Kaymak A, 2025. Determination of breast cancer risk levels and health beliefs regarding breast cancer screening methods in women aged 20–69: Büyükçekmece case. Turkish Journal of Health Research, 6(1), 1–15

Lera T, Beyene A, Bekele B, Abreha S, 2020. Breast self-examination and associated factors among women in Wolaita Sodo, Ethiopia: A community-based cross-sectional study. BMC Women's Health, 20(1), 167. https://doi.org/10.1186/s12905-020-01042-1

Oruç M A, Arslan S, Bayram N, Özen Ö, Öztürk O, 2022. Efforts to increase cancer screenings in family medicine units – The case of Samsun. Fırat Medical Journal, 27, 87–91

Özçelik EK, Seçginli S, 2022. Breast cancer screening behaviors in women with a family history of breast cancer. Journal of Continuing Medical Education, 31(3):183–192

Öztop M, 2023. Knowledge level of family medicine residents about breast cancer screening program. Osmangazi Journal of Medicine, 45(3), 395–403

Tunçez İ H, Aksoy N, Koç M, 2021. National cancer screening program results: A provincial example. Phoenix Medical Journal, 3(2), 69–73

Turkish Statistical Institute, 2020. Turkey Cancer Statistics 2020. Access address: https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/kanserdb/Dokumanlar/Istatistikler/Turkiye_Kanser_Istatistikleri_2020.pdf Access date: 01.06.2025

Uysal N, Ünal Toprak F, 2022. Determination of women's health perceptions, attitudes toward cancer screenings, and influencing factors. Adnan Menderes University Faculty of Health Sciences Journal, 6(1), 65–76

World Health Organization (WHO), 2020. The top 10 causes of death. Access address: https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/the-top-10-causes-of-death Access date: 01.06.2025

World Health Organization (WHO), 2021. National cancer control programmes. Access date: 01.06.2025

World Health Organization, 2024. Breast cancer. Access address: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer Access date: 01.06.2025

Yalım S A, Uysal M, 2021. Evaluation of cancer patients admitted to Afyon Kocatepe University Medical Faculty Oncology Clinic. Kocatepe Medical Journal, 22(2), 132–137

MENOPOZ DÖNEMİNDEKİ KADINLARDA SAĞLIK ANKSİYETESİ VE SİBERKONDRİ

Yüksek Lisans Öğr. Hemşire ÇiğdemUÇAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

cigdemmucann@gmail.com- 0009-0006-8623-2954

Dr.Öğr.Üyesi Figen ÇAVUŞOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

figen.cavusoglu@omu.edu.tr-0000-0001-9789-2006

ÖZET

Menopoz, kadınların yaşamında biyolojik, psikolojik ve sosyal değişimlerin yoğun olarak yaşandığı doğal bir süreçtir. Bu süreçte hormonal değişimlerin etkisiyle fiziksel belirtilerin yanında duygusal değişimlerde yaşanmaktadır. Meydana gelen bu değişimler ve yaşlanma kaygısı gibi etkenler, menopoz dönemindeki kadınlarda sağlıkla ilgili kaygıların artmasına neden olabilmektedir. Sağlık anksiyetesi, bireyin fiziksel bir sağlık sorunu olmadığı halde ciddi bir hastalık olduğu endişesini taşımasıdır. İnternet kullanımının artmasıyla birlikte bireylerin sağlıkla ilgili bilgi edinme çabaları artmış ve durum "siberkondri" olarak adlandırılan kavramı gündeme getirmiştir. Siberkondri, bireyin sağlık kaygıları doğrultusunda internette yoğun şekilde bilgi arayışına girmesi ve bu arayışın kaygı düzeyini artırmasıyla karakterizedir. Yapılan bir meta-analiz çalışmasında, "sağlık anksiyetesi, siberkondri ve sağlık bilgisi arama davranışları" arasında olumlu yönde bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Siberkondri, çevrimiçi sağlık aramalarının tekrarı ile sağlık anksiyetesi arasında döngüsel bir ilişki oluşturur. Yapılan çeşitli çalışmalarda, kadınların menopoz hakkında yeterli bilgiye sahip olmadıkları belirtilmiştir. Kadınlar, yaşadıkları semptomları anlamlandırmak ve yönetmek için sıklıkla dijital kaynaklara başvurmaktadır. Ancak bu bilgi arayışları yanlış, abartılı içeriklerle karşılaşıldığında sağlık anksiyetesini daha da tetikleyebilir. Yurtdışında yapılan bir araştırmada erken menopoz hakkında bilgi içeren web sayfaların içerik açısından yetersiz olduğu görülmüştür. Hemşirelerin siberkondri düzeylerinin incelendiği bir çalışmada internetten sağlık bilgisi araştırma sonucunda stres seviyelerinin arttığı görülmüştür. Literatürde, menopoz dönemindeki kadınlarda sağlık anksiyetesi ile siberkondri arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Bu derlemede, menopoz dönemindeki kadınlarda bu iki durumun birbirini nasıl etkilediği ve kadın sağlığına olan etkileri ele alınmıştır. Çalışma, kadın sağlığına yönelik farkındalık oluşturmayı ve kadınların dijital bilgiye erişiminde bilinçli yönlendirme yapılmasının önemini vurgulamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Menopoz, Sağlık Anksiyetesi, Siberkondri, Kadın Sağlığı

1.GİRİŞ

Menopoz, kadınların üreme döneminin sonlandığı, genellikle 45-55 yaşları arasında gerçekleşen bir biyolojik süreçtir. Bu dönemde, vücutta birçok fiziksel ve hormonal değişiklik meydana gelmekte; menstrüasyonun sonlanması, sıcaklık hissi, uyku düzeninde bozulmalar, anksiyete, depresyon, kalp damar hastalıkları, osteoporoz gibi sağlık sorunları ortaya çıkabilmektedir. Menopoz dönemi, hormon seviyelerin değişmesinin yanı sıra, yaşlanma ve sağlıkla ilgili gelecekteki riskler hakkında artan endişelere yol açar. Bununla birlikte bu değişiklikler, birçok kadında sağlıkla ilgili kaygıların da artmasına neden olabilmektedir. (Tümer ve Kartal, 2018; Önder, 2014; Çelik ve Pasinlioğlu, 2013; Özcan ve Oskay, 2013).

Sağlık anksiyetesi, bireylerin sağlıklarıyla ilgili aşırı kaygılı hissetmeleri olup kişiler mevut sağlık durumunu bozan bir tehditle karşı karşıya olduğunu düşünmektedir (Özyıldız ve Alkan, 2022). Sonuçta da kişiler kaygı düzeylerini düşürmek için birçok kanaldan bilgi arayışına girebilirler. Dijitalleşmenin etkisiyle bilgi kaynakları ve bilgi arama davranışları da değişmiştir. (Tarhan, Tutgun-Ünal ve Ekinci, 2021). Özellikle çevrimiçi kaynakların kolay ulaşılabilirliği kişilerin bilgi arayışını yoğunlaştırmaktadır. Sağlık anksiyetesi olan kişiler için bilgiye kolay ulaşım dijital kanalların daha fazla kullanım için tercih edilmesini ortaya çıkarmaktadır. Bu durumda tekrar eden çevrimiçi sağlık bilgisi arama davranışı kişilerin mevcut kaygı düzeylerini artırır ve bu bir tür döngü haline gelir. Bu durum “siberkondri” olarak adlandırılmaktadır.

Menopoz dönemindeki kadınların mevcut durumlarındaki değişimi anlayabilmek ve çözüm bulabilmek adına özellikle çevrimiçi kaynaklardan elde ettikleri abartılı, hatalı bilgiler kaygı düzeylerini artırarak sağlık bilgisi arama davranışını devamlı hale getirebilir. (Freeman & Sammel, 2016). Artan sağlık kaygısı kadınları daha fazla güvence arayışına iterek sağlık hizmetlerine başvuruyu arttırabilir. Bu durum da hem verilen sağlık hizmetlerini hem de kaynak kullanımını etkileyebilir (Özdelikara ve ark.,2018). Siberkondrinin bunun gibi istenmeyen durumları ortaya çıkarabileceği için birey ve toplum sağlığı için önemlidir. (Özyıldız ve Alkan, 2022). Kadınların yaşam döngüsündeki önemli bir dönemi oluşturan menopoz dönemindeki süreçle ilgili sağlık anksiyetesi ve siberkondri ile ilgi çalışma sayısı sınırlıdır. Çalışmada menopoz dönemindeki kadınların yaşadığı sağlık anksiyetesi ve siberkondri eğilimlerinin incelenmesi ve konuya daha fazla dikkat çekilmesi amaçlanmaktadır.

2.MENOPOZ NEDİR?

Menopoz, “yumurtalık foliküler fonksiyonunun kaybı ve dolaşımdaki östrojen seviyelerinin düşmesi sonucu meydana gelen, kadınların üreme yıllarının sonunu işaret eden bir yaşam evresi olup, son adet döneminden sonra 12 ay boyunca adet görmeme haliyle tanımlanır".45-55yaş aralığında yaşanmaktadır (Dünya Sağlık Örgütü, 2024). Menopoz, meydana geliş şekline ve yaşa göre sınıflandırılmaktadır. Doğal menopoz, kadının sahip olduğu foliküllerin herhangi bir tıbbi müdahale olmadan işlevlerini tamamen yitirmesiyle menstrüasyonun sona ermesi durumu iken (Çelik ve Pasinlioğlu, 2013) cerrahi menopoz ise doğal menopoz gerçekleşmeden önce, hekim müdahalesiyle yumurtalıkların cerrahi girişimle çıkarılması sonucu ortaya çıkmaktadır (Çelik ve

Pasinlioğlu, 2013). Yaş açısından bakıldığında menstrual döngünün 40 yaşından önce sona erdiği durumlar "erken menopoz" şeklinde tanımlanır. (Çiçek ve ark., 2004). Menstrual döngünün 45–54 yaşları arasında sona ermesi "normal menopoz" olarak kabul edilirken (Çelik ve Pasinlioğlu, 2013), 55 yaşını geçmiş kadınların hâlâ adet görmesi "geç menopoz" olarak tanımlanmaktadır (Çiçek ve ark., 2004).

Ülkelerin gelişmişlik seviyelerine göre menopoz yaşı değişmektedir. Gelişmemiş ülkelerde menopoz yaşı gelişmiş ülkelere göre daha düşüktür. Bu duruma kişilerin genetikleri, ruhsal özellikleri, sigara kullanma durumu, beslenme alışkanlıkları, yaşanılan bölge, evlilik durumu, ilk menstrüasyon olma yaşı, doğum sayısı, gebelikten korunma yöntemleri, bir işte çalışma durumu gibi unsurların etki ettiği bilinmektedir. Bunlarla birlikte eğitim, gelir düzeyi, yaş ve kişilerin sağlığı algılama şekli menopoz evresindeki belirtilerin seviyesini etkilemektedir (Çelik ve Pasinlioğlu, 2013; Özcan ve Oskay, 2013).

Menopoz ve klimakterium terimleri sıklıkla birbiri yerine kullanılsa da aslında farklı anlamlar taşımaktadır. "Yaş dönümü" olarak bilinen klimakterium, kadının cinsel boyutunun olgunlaşmasıyla başlayıp yaşlılık dönemine kadar süren bir dönemi anlatır. Bu süreç, kadının son defa menstrüasyon yaşamasından yaşlılık dönemine doğru ilerlemesini anlatır. Üreme kapasitesinin azaldığı bu dönemin başlangıcı 45 yaş dolaylarında olur ve yaşlılık olarak kabul edilen 65 yaşa kadar sürer ve ortalama 20 sene yaşanmaktadır. Bu dönem, hormon düzeylerinde belirgin değişimlerin yaşandığı, üreme kapasitesinin azaldığı ve fizyolojik olduğu kadar psikososyal uyum gerektiren doğal bir geçiş dönemidir**.** Klimakterium döneminin en belirgin özelliği menopozdur. Menopoz, klimakterium sürecin bir alt dönemidir. (Çelik ve Pasinlioğlu, 2013)

2.2.Kadınların Menopoz Dönemindeki Yaşadıkları Yakınmalar ve Belirtiler

Menopoz sürecinde, yumurtalıklardan salgılanan östrojen hormonu seviyesinde düşme yaşanmasıyla birlikte bedensel ve emosyonel birtakım değişiklikler yaşanmaktadır. Bu değişiklikler; kısa vadede vazomotor, atrofik ve psikolojik değişiklikler, uzun vadede ise kalp ve damar sistemine ait sağlık sorunları ile osteoporoz şeklinde sınıflandırılmaktadır (Özcan ve Oskay, 2013; Çelik ve Pasinlioğlu,2013).

2.2.1.Vazomotor Belirtiler

Kadınlarda en sık görülen belirtilerdir. Görülme oranı %60 ile 85 arasındadır. Bu değişiklikler yüzde kızarma hissetme, sıcaklık yaşama hissi ve geceleri terlemelerin olması şeklinde kendini göstermektedir (Özcan ve Oskay, 2013; Çelik ve Pasinlioğlu,2013). Sıcaklık yaşama hissinin cerrahi müdahale ile menopoza giren kadınlarda görülme oranı daha fazladır. Aynı zamanda bu belirtilere ek olarak kadınlarda baş ağrısı, çarpıntı hissi, parmaklarda karıncalanma ve titremeler, mide bulantısı, kulakta çınlama, konsantrasyon dağınıklığı, nefes almakta zorlanma, uykusuzluk gibi çeşitli vazomotor değişimlerde görülmektedir (Çelik ve Pasinlioğlu, 2013).

2.2.2.Psikolojik Belirtiler

Menopozda kadınlarda meydana gelen değişimlerin ana nedeni hormonal seviyenin değişmesi olarak gösterilmektedir. Bu dönemdeki kadınlarda; ruh halinde dalgalanma, kendini üzgün-mutsuz hissetme, hayattan zevk alamama, depresyon, nefret, sık ağlama isteği, isteksizlik, sinirlilik, gerginlik, anksiyete huzursuzluk, hafıza zayıflığı, panik ve korku duygusu, genel performans düşüşü, yorgunluk, özgüven düşüşü, dikkat toplamada ve karar vermede güçlük gibi değişimler görülebilmektedir (Ünsal vd.,2020; Özcan ve Oskay, 2013).

2.2.3.Ürogenital Yapı Değişiklikleri

Üreme organında meydana gelen değişimler östrojen hormonunun azalmasından kaynaklı oluşmaktadır. Bu değişimler rahim, vajina, vulva ve üriner sistemde oluşur. Hormonun azalmasına bağlı olarak vulva derisi incelir, deri esnekliğini kaybeder ve kişilerde kaşıntı görülebilir. Vajinada epitel doku kaybı oluşarak salgı miktarı azalmasıyla vajinada yanma hissi, kuruluk görülebilir. Bunların sonucunda ise disparoni yaşanabilir. Vajinal pH'ın yükselmesi patojen mikroorganizmaların çoğalması için ihtiyacı olan ortamı hazırlayarak enfeksiyona yatkınlığı artırırabilir. Rahmin kütlesi azalır ve orta tabakası olan endometrium damarlarında sertleşme görülür. Ayrıca üriner sistemdeki bağ ve damar yapısındaki değişimler nedeniyle kişilerde sık idrar yapma, idrar yaparken yanma hissi ve inkontinans yaşanabilir. İlerleyen dönemlerde ise idrar yapmada zorluk yaşanır (Mac Bride, Rhodes & Shuster, 2010; Çelik ve Pasinlioğlu, 2013; Karanisoğlu ve Dinç, 2016).

2.2.4.Cilt ve Deri Değişimleri

Bu dönemde görülen östrojen eksikliği sebebiyle derinin en üst kısmı olan epidermis incelir, deri altında bulunan yağ dokusunda değişimler yaşanır ve kolajen içeriğinde azalma meydana gelir. Derinin elastikiyeti olumsuz etkilenerek ciltte incelme, buruşma ve sarkma meydana gelir. Ayrıca, yaraların iyileşme süreci de zorlaşabilir (Çelik ve Pasinlioğlu, 2013; Karanisoğlu ve Dinç, 2016)

2.2.5.Kalp Damar Sistemine Ait Sağlık Sorunları

Kadınlar, üreme dönemleri süresince salgılanan östrojen hormonunun koruyucu özelliği sayesinde kalp ve damar sorunlarından korunurlar. Ancak bu dönemde, östrojen hormonunun seviyesinin düşmesiyle birlikte yağ metabolizmasındaki değişimler (LDL seviyesinde yükselme, HDL seviyesinde düşüş, kolestrol seviyesinde yükselme görülür) sebebiyle kişiler kalp ve damar hastalıkları açısından riskli konuma geçmektedir (Karanisoğlu ve Dinç, 2016)

2.2.6. Hareket Sistemi Sorunları

Bu dönemde kadınlar kas-iskelet sistemine ait çeşitli sorunlarla karşılaşmakta; bu durum kas ve eklem ağrıları, hareket kabiliyetinde azalma ve özellikle osteoporoza bağlı kemik kırıkları şeklinde kendini göstermektedir. Östrojen düzeylerinin menopozla birlikte azalması, kemik yapımının yavaşlamasına ve kemik mineral yoğunluğunun azalmasına yol açar. Bu durum, kemiklerin dayanıklılığını azaltarak osteoporoz adı verilen ve kemiklerin kolay kırılabilir hale geldiği bir sağlık sorununun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. (Özcan ve Oskay, 2013; Karanisoğlu ve

Dinç, 2016). Yaşla birlikte ilerleyen fizyolojik bir süreç olmakla birlikte, menopozla tetiklenen hormonal değişiklikler nedeniyle kadınlarda daha erken ve daha belirgin şekilde ortaya çıkar. Özellikle menopozla birlikte, 45 yaş sonrasında kadınlarda osteoporoz yaygın olarak gözlemlenen bir sağlık sorunu haline gelmektedir. Osteoporoz sebebiyle meydana gelen kırıklar ise bireyler ve toplum için büyük ekonomik ve manevi yük oluşturmaktadır (Çelik ve Pasinlioğlu, 2013).

Kadınların menopoz döneminde yaşadıkları belirtilerin türü ve yoğunluğu, menopozun gerçekleştiği yaş, menopozun doğal mı yoksa cerrahi müdahale sonucu mu başladığı, kadının bilgi seviyesi, inançları, içinde bulunduğu toplumun kültürel değerleri ve ona atfedilen cinsiyet rolleri gibi birçok faktöre bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Kadının bu sürece ne ölçüde hazırlıklı olduğu, yaşadığı şikayetlerin şiddeti ve genel yaşam koşulları, menopoz sürecine yönelik tutum ve davranışlarını şekillendirmede belirleyici rol oynamaktadır. Kültürler arasında bu sürece ilişkin tutumlar ve inanışlar büyük farklılık gösterebildiğinden, kadınlar menopozu kimi zaman önemli bir evre, kimi zaman ise zorlayıcı ve karmaşık duygulara yol açan bir deneyim olarak değerlendirilebilir (Polat & Karasu, 2021).

Erbaş ve Demirel'in (2017) yaptıkları araştırmada, kadınların menopoza karşı benimsedikleri tutum ve inanışların “cinsel yaşam kalitesi” üzerindeki etkisi incelenmiş ve menopoza karşı pozitif tutum ve davranışlarının kadınların cinsel yaşam kalite düzeyini yükseltebileceği ifade edilmiştir (Erbaş ve Demirel, 2017). Tümer ve Kartal’ın (2018) yaptıkları araştırmada da, menopoz sürecine olumlu yaklaşan kadınların menopozla ilgili şikayetlerinin daha düşük olduğu ve daha az belirti ile karşılaştıkları saptanmıştır (Tümer ve Kartal, 2018).

Bu dönemde karşılaşılan değişimlerle baş edebilmek için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Örneğin psikolojik belirtileri olan kişiler duygularını başkalarıyla paylaşmaya çalıştıklarını, sevdiği kişilerle zaman ayırmaya gayret ettiklerini, zihinlerini meşgul edecek uğraşlar bulmaya çalıştıklarını, vazomotor belirtilerle baş etmek için serin ortamda bulunmaya gayret ettiklerini, soğuk içecekleri tükettikleri görülmüştür (Kurt ve Arslan, 2020)

3. SAĞLIK ANKSİYETESİ

Sağlık anksiyetesi, kişinin herhangi bir fiziksel sağlık sorunu olmamasına rağmen vücudunda hissettiği belirtileri ciddi bir sağlık probleminin habercisi olduğu düşüncesine kapılması ve bu problemin olumsuz sonuçlara yol açacak şekilde yorumlaması olarak tanımlanmaktadır. Birey sağlığı için büyük bir tehditle karşı karşıya geldiğini düşünür ve bu durum emosyonel, fiziksel belirtilerin ortaya çıkmasını sağlayan psikolojik bir tecrübe haline gelir (Aydemir ve ark.,2013; Özdelikara, Alkan ve Mumcu, 2018). Kısaca sağlıkla ilgili yaşanılan yoğun endişe ve korkuyu ifade etmektedir. Bu kaygıya sahip kişiler, var olduğu düşünülen sağlık tehdidini önlemeyeceklerini ve bu tehditle başa çıkamayacaklarını düşünerek ciddi bir sağlık problemi olduğuna inanma eğiliminde olabilirler (Özyıldız ve Alkan, 2022).

Sağlık anksiyetesi, farklı zaman diliminde ve çeşitli düzeylerde görülebilen bir durumdur. Hafif seviyede olan sağlık anksiyetesi, bireylerde en sık görülen şeklidir. Ancak bu durum “patolojik bozukluk” olarak değerlendirilmemektedir (Taylor, 2004; Özyıldız ve Alkan, 2022). Daha az

görülen yüksek sağlık anksiyetesinde ise bireyler yaşadıkları belirtilere yanlış anlam vererek yaşamlarını tehdit eden bir sağlık sorununa sahip olduklarını ve bu tehditten kaynaklı yaşamının son bulacağını düşünürler. Kişilerde algıladıkları tehdite karşı başa çıkma gayreti bulunur (Karaçadır ve Çelik, 2019). Yoğun ve uzun süre devam eden sağlık anksiyetesi ile hastalığa yönelik artan korku, bedensel yakınmalarla birlikte görüldüğünde bu durum "hipokondriyazis" olarak tanımlanır. (Wolfradt vd., 2014) Sağlık anksiyetesinin, "anksiyete bozukluklarının" ve "somatoform bozukluklarının" temel unsurlarından biri olduğu kabul edilmektedir (Aydemir ve ark.,2013).

Sağlık anksiyetesine sahip bireylerde kaçınma veya kontrol ettirme davranışları görülmektedir. Kaçınma davranışında kişi yaşamını olumsuz etkileyecek bilgiyi öğrenmekten ve sağlık profesyonellerine danışmaktan kaçınır. Kontrol ettirme davranışında ise kaçınma davranışından tam tersi şekilde kişiler sık sık hekime başvuru yaparlar. Genelde tek hekimden aldıkları bilgi yeterli gelmez ve başka hekimlere başvurarak bilgilerini karşılaştırır, vücutlarını kontrol etme isteği vardır (Özdelikara ve ark.,2018).

Bir çalışmada Sağlık anksiyetesi yüksek bireylerin, sağlık hizmeti sunucularıyla yaptıkları görüşmelerden genellikle daha az tatmin oldukları ve bu nedenle sağlıkla ilgili bilgileri internetten daha sık araştırma eğiliminde oldukları görülmektedir (Tanis ve ark., 2016). Sağlıkla ilgili belirtiler konusunda çevrimiçi bilgi arayan bireylerin, ulaştıkları içerikler sonucunda kaygılarının arttığı ve bu durumun günlük yaşamlarını olumsuz etkileyebildiği gösterilmiştir. İnternetin bu şekilde kullanımı, sağlık anksiyetesi yüksek bireylerde baskı yaratan bir unsur haline gelebilir (Doherty-Torstrick vd., 2016). Kişiler anksiyete seviyelerini düşürmek ve kendilerini rahat hissettirmek amacıyla internet üzerinden sağlık/ hastalık ile ilgili tüm verilere ulaşabilir. Bu verilere ulaşmanın kolay olmasından kaynaklı bireylerde sağlık anksiyetesinin meydana gelmesine ya da var olan sağlık anksiyete seviyesinin yükselmesine neden olur (Karaçadır ve Çelik, 2019). Yüksek seviyede sağlık anksiyetesine sahip kişilerin daha çok sağlık/ hastalık araştırması yapacağı düşülmektedir (Özyıldız ve Alkan, 2022). Böylece bu durum bir kısır döngü haline gelebilmektedir.

Menopoz, kadınların yaşamında hem bedensel hem de ruhsal yönden önemli değişimlerin yaşandığı bir dönem olup, bu süreçte sağlıkla ilgili endişelerin yaşanması oldukça yaygındır. Hormon düzeylerinde özellikle östrojen seviyesindeki dalgalanmalar, serotonin ve GABA gibi kimyasalların dengesini etkileyerek anksiyete riskini artırabilir (Alblooshi, Taylor, & Gill, 2023). Ayrıca, menopozal semptomlar arasında yer alan sıcak basmaları ve gece terlemeleri gibi vazomotor belirtiler, kadınların genel sağlık algısını olumsuz etkileyebilir ve kaygıyı artırabilir (Freeman & Sammel, 2016).

Psiko-sosyal faktörler de menopoz sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Daha önce depresyon yaşamış olmak, menopoz dönemindeki kadınlarda depresyon ve anksiyete görülme riskini artırmaktadır (Alblooshi et al., 2023). Ayrıca menopoz öncesi dönemde düşük düzeyde anksiyetesi olan kadınlarda, menopoz sırasında ve sonrasında ruhsal açıdan daha kırılgan hâle gelebileceği ve yüksek anksiyete belirtileri gösterebileceği belirtilmiştir (Bryant, Judd, & Hickey, 2012).

4.SİBERKONDRİ

Siberkondri, teknoloji çağının etkisiyle kişilerde ortaya çıkan yeni bir sağlık sorunu olarak görülmektedir (Tarhan, Tutgun-Ünal ve Ekinci, 2021). Kişinin kendisinde var olduğunu zannettiği sağlık problemlerine yönelik çevrim içi bilgi taraması yaparak, sağlık problemini ortadan kaldırmak için çaba içinde olma hali olarak tanımlanmaktadır. Bu durum; tekrar eden bilgi arayışları, artan kaygı düzeyi, günlük yaşantının olumsuz etkilenmesi ve sürekli onay ya da güvence arama gibi dört temel özellik ile karakterize edilmektedir (Tarhan, Tutgun-Ünal ve Ekinci, 2021).

"Siberkondri" terimi, etimolojik olarak "siber" (cyber) ve "hipokondriazis" kelimelerinin birleşiminden türetilmiştir. Dijital ortamda kendinde var olmayan hastalık ile ilgili takıntılı biçimde araştırma yapan kişiler ise "siberkondriyak" olarak açıklanmıştır. Bu kavram, hipokondriyazisin çevrimiçi platformlarda deneyimlenmesi şeklinde ifade edilmektedir (Başoğlu, 2018; Tarhan vd., 2021; Özyıldız ve Alkan, 2022). Siberkondri ve hipokondriazisin arasındaki en ayırt edici fark, sergilenen davranışsal belirtiler üzerinden ortaya çıkmaktadır. Siberkondri, hipokondriyazise kıyasla daha fazla hastalık/ sağlık bilgisi arama davranışıyla öne çıkmakta, buna karşılık fiziksel ya da duygusal tepkiler daha düşük düzeyde gözlemlenmektedir (Elciyar ve Taşçı, 2017).

Teknolojik alanda elde edinilen kazanımlar, bireylerin sağlıkla ilgili bilgi edinme yöntemlerini köklü bir şekilde değiştirmiştir (Starcevic, 2017). Günümüzde kişiler artık bedensel sağlıkla ilgili bilgileri kitap, dergi vb. kaynaklardan değil, çoğunlukla çevrimiçi kaynaklar üzerinden tarmaktadır (Tarhan, Tutgun-Ünal ve Ekinci, 2021). Teknolojik gelişmelerden iletişim ve bilgi alanları da faydalanmıştır. Böylece kişiler ihtiyaç duydukları bilgilere çok daha hızlı ve pratik bir şekilde erişebilmektedir (Durak Batıgün, Kömürcü, Şenkal Ertürk ve Gör, 2018; Tarhan, Tutgun-Ünal ve Ekinci, 2021). Bu açıdan kişilerin çevrimiçi kaynakları ne amaçla kullandıkları önem arz etmektedir. Tecrübeli kullanıcılar, bu ağı hem sağlık uzmanlarıyla hem de benzer deneyimler yaşayan kişilerle etkileşim sağlamak amacıyla iletişim aracı olarak kullanmayı tercih etmektedir. Günümüzde pek çok kişi, sağlıkla ilgili sorularına yanıt aramak, hastalıklar ve tedavi yöntemleri hakkında bilgi edinmek ya da sağlığını korumak için ilk olarak çevrimiçi kaynaklara yönelmektedir. Bu bilgilere; bireylerin oluşturduğu kişisel sayfalardan, resmi kurumların internet sayfalarından ulaşabilmektedir (Tarhan vd., 2021)

Yapılan bir meta analiz çalışmasında çevrimiçi kaynaklardan bilgi arama davranışı ile sağlık anksiyetesi arasındaki ilişki incelenmiş ve aralarında anlamlı düzeyde pozitif bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Araştırmaya dahil edilen veriler doğrultusunda, sağlık kaygısı arttıkça çevrimiçi kaynaklara yönelme eğiliminin de yükseldiği görülmüştür. Çalışma ayrıca, siberkondri ile sağlık kaygısı arasında güçlü bir bağlantı bulunduğunu göstermiştir (McMullan vd.,2019)

İnternet, özellikle sağlık konusunda endişe duyan bireyler için kaygı seviyelerini tetikleyebilecek bilgilerin fazlaca bulunduğu bir ortamdır. Ancak bu durum, bazı bireylerde aşırı ve kontrolsüz bilgi arayışına dönüşerek kaygı düzeylerini artırabilmektedir. Özellikle sağlıkla ilgili endişeleri olan kişiler, yaşadıkları belirtileri daha iyi anlamak amacıyla internete başvurmakta ve bu durum çoğu

zaman daha fazla belirsizlik ve korkuya yol açabilmektedir (McMullan et al., 2019). İnsanların belirsizliğe tahammül edememesi ya da en kötü senaryolara odaklanma eğilimi, internette okudukları bilgileri olumsuz yorumlamalarına neden olabilir (Starcevic & Berle, 2013). Ayrıca, bilgi kirliliği ve dijital okuryazarlık eksikliği de bu kaygıyı artıran önemli faktörlerdendir (Fergus, 2014). Bazı bireyler, tıbbi yardım almak yerine internetteki bilgilere dayanarak kendi değerlendirmelerini yapma eğilimindedir; bu da sağlıkla ilgili takıntılı düşünce örüntülerinin gelişmesine yol açabilir (Baumgartner & Hartmann, 2011). Dijital okuryazarlıkla birlikte sağlık okuryazarlık seviyesi düşük olan kişiler de, bu tür bilgilere maruz kaldıklarında şüphe ve korkularının daha da artması mümkündür. İnternette sağlığa yönelik içerikler yeterli kanıta temelli olmayan ve birbiriyle bağlantısız bilgilerden oluşabilmektedir; bu da kişilerin daha fazla huzursuzluk yaşamasına yol açabilmektedir (Başoğlu, 2018). Yurtdışında gerçekleştirilen bir araştırmada "erken menopoz" hakkında bilgi veren web siteleri incelenmiş ve çoğu sitenin bilgileri açık, anlaşılır bir anlatım tarzı kullanmadan aktardığı, içerik açısından yetersiz, bilimsel referans yönünden eksik olduğu ve ticari içerik barındırdıklarını göstermiştir (Aleksova vd., 2017).

Hemşirelerin siberkondri ve sağlık anksiyetesi ilişkisini inceleyen çalışmada hemşirelerin çevrimiçi sağlık bilgisi araştırdıklarını ve araştırma sonucunda stres seviyelerinin arttığı bildirilmiş, sağlık anksiyetesi ve siberkondri arasında anlamlı bir ilişki saptanmıştır (Polat, 2020)

Ayrıca, profesyonel sağlık hizmetlerine erişimin sınırlı ya da zorlayıcı olduğu durumlarda bireyler çözüm arayışını çevrimiçi kaynakları kullanarak sağlarlar ve bu durum, siberkondri davranışının devamlı hale gelmesine neden olabilmektedir (Baumgartner & Hartmann, 2011). Dolayısıyla siberkondri, yalnızca bireyin psikolojik yatkınlıklarıyla değil, aynı zamanda sahip olduğu dijital bilgi ortamlarının yapısı ve sağlık hizmetlerine duyulan güvenle de doğrudan ilişkilidir.

4.2.Menopoz-Sağlık Anksiyetesi- Siberkondri İlişkisi

Menopoz döneminde hormon ve nörotransmitter düzeylerinde yaşanan değişimler nedeniyle kaygı seviyesi yükselen bireylerin çevrimiçi sağlık bilgisi arama davranışında artış yaşanabilmekte, sonucunda ise tekrar eden sağlık bilgisi arama davranışları görülebilmektedir. Bu durum da kadınlarda siberkondri oluşumuna destekleme niteliğini artırmaktadır (Alblooshi, Taylor, & Gill, 2023)

Menopoz döneminde kadınların, vücutlarında meydana gelen fizyolojik değişimler ve ortaya çıkan semptomlar hakkında yeterli bilgiye sahip olmaması, bilgi eksikliği durumu sağlıklarıyla ilgili belirsizlik ve endişe yaşamalarına yol açabilmektedir (Çelikkanat ve Sohbet, 2020). Yaşanan endişe bireyleri hızlı bir çözüm arayışına iterek çevrimiçi kaynakları tercih edilme oranını artırmaktadır. Bilgiye kolay ulaşıldıkça bireylerde sağlık bilgisi arama davranışlarında artma görülür. Bu doğrultuda çevrimiçi kaynaklardan sık yoğun şekilde araştırma yapma davranışı zamanla kişide siberkondriye dönüşebilir (McMullan et al., 2019).

Menopoz öncesi kişilerin sağlık öyküsü de sağlık anksiyetesi ve siberkondrinin gelişmesinde rol oynar. Menopoz öncesinde kişilerin depresyonu ya da anksiyeteyi deneyimlemiş olmaları, menopozda değişen hormon seviyeleri nedeniyle bu kişilerde geçirilmiş depresyon ve anksiyete

bulgularını tetikleyebilmektedir (Alblooshi et al., 2023). Sağlık anksiyetesi ve siberkondri arasındaki ilişkiden kaynaklı siberkondri riskini artırmaktadır. (McMullan et al., 2019).

4.3.Siberkondri ve Çözüm Yolları

Siberkondri ile başa çıkmanın en etkili yollarından biri, bireylerin dijital sağlık okuryazarlığını geliştirmektir. Böylece kişi sağlıkla ilgili bilgiye daha eleştirel ve bilinçli yaklaşacak elde edilen bilgileri yorumlayabilecek ve her bilgi karşında da endişelenmeyecektir (Fergus, 2014; Başoğlu, 2018)

Sağlık anksiyetesine sahip bireylere psikolojik müdahalelerde bulunmak siberkondrinin çözümünde etkilidir. Psikolojik açıdan verilen eğitim ve terapiler kişilerin devamlı hale gelen dijital ortamda bilgiye ulaşma davranışını azaltmada yardımcı olabilir (Starcevic & Berle,2013). Aynı zamanda kişilere belirtilerle nasıl başa çıkılacağının anlatılmasının anksiyete seviyesine olumlu etkileri bulunmaktadır (McMullan et al., 2019)

Sağlık profesyonellerinin bireylere açık, sade ve doğru bilgiler sunması, çevrimiçi bilgi arama ihtiyacını azaltabilmektedir (Baumgartner & Hartmann, 2011). Gerektiğinde sağlık profesyonellerinin kişileri güvenilir platformlar hakkında bilgilendirmesi, internetin sağlıkla ilgili bilgi edinme sınırlarının anlatılması ve doğru kullanımının teşvik edilmesi önerilmektedir (Başoğlu, 2018).

5. SONUÇ

Menopoz, kadınların fizyolojik ve psikolojik değişimlerle karşılaştığı ve bu süreçte sağlıkla ilgili anksiyetesinin arttığı önemli bir yaşam evresidir. Bu süreçte meydana gelen değişimlerle başetme, risklerin farkında olma ve aslında dönemi kabul edip sürece uyum sağlama başetmede önemli bir unsurdur. Literatür incelendiğinde menopoz döneminin sağlık anksiyetesi ve stres düzeyini arttırdığı, siberkondri ile de pozitif yönde ilişkili olduğu görülmüştür. Hızla gelişen bu dünyada kültürel etkiyi de göz önünde bulundurarak menopoz dönemindeki kadınlarda anksiyete ve siberkondri ve yordayıcı etmenlerin neler olduğunu inceleyen çalışmaların arttırılması menopozu kabul ve uyumu artırmaya yönelik yapılacak girişimler için yol gösterici olabilir. Ayrıca toplumun dijital okuryazarlık düzeyinin arttırılmasına yönelik yapılacak girişimlerin de arttırılmasının siberkondrinin patolojik etkilerini önleyebileceği düşünülmektedir.

6.KAYNAKÇA

1. Alblooshi, S., Taylor, M., & Gill, N. (2023). Does menopause elevate the risk for developing depression and anxiety? Results from a systematic review. Australasian Psychiatry, 31(2), 165–173. https://doi.org/10.1177/10398562231165439 (Erişim tarihi: 01.04.2025)
2. Aleksova, J., Kuczynska-Burggraf, M., Ranasinha, S., & Vincent, B. (2017). Information on early menopause: Is the internet the place to search? Menopause, 20(3), 248–255. https://doi.org/10.1080/13697137.2017.1301920 (Erişim tarihi: 20.03.2025)
3. Altındiş, S., İnci, M. B., Aslan, F. G. ve Altındiş, M. (2018). Üniversite çalışanlarında siberkondria düzeyleri ve ilişkili faktörlerin incelenmesi. Sakarya Tıp Dergisi, 8(2), 359-370. https://doi.org/10.31832/smj.423652 (Erişim tarihi: 19.01.2025)
4. Aydemir, Ö., Kirpinar, I., Sati, T., Uykur, B., & Cengisiz, C. (2013). Sağlık Anksiyetesi Ölçeği'nin Türkçe için Güvenilirlik ve Geçerlilik Çalışması. Archives of Neuropsychiatry/Nöropsikiyatri Arşivi, 50(4).
5. Başoğlu, M. A., Edirne il merkezinde 15-49 yaş grubu kadınlarda siberkondrinin sürekli kaygı ve psikolojik iyi oluş ile ilişkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Edirne, 2018.
6. Baumgartner, S. E., & Hartmann, T. (2011). The role of health anxiety in online health information search. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 14(10), 613–618. https://doi.org/10.1089/cyber.2010.0470 (Erişim tarihi: 25.02.2025)
7. Bryant, C., Judd, F. K., & Hickey, M. (2012). Anxiety during the menopausal transition: A systematic review. Journal of Affective Disorders, 139(2), 141–148. https://doi.org/10.1016/j.jad.2011.06.055 (Erişim tarihi: 01.04.2025)
8. Çelikkanat, M., & Sohbet, R. (2020). Menopoz dönemindeki kadınların menopozal semptomlar ve baş etme durumlarının belirlenmesi. *Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(3), 49–58.
9. Çiçek, M., Akyürek, C., Çelik, Ç. ve Haberal, A., Kadın hastalıkları ve doğum bilgisi, Güneş Tıp Kitabevleri: Ankara, 2004.
10. Doherty-Torstrick, E. R., Walton, K. E. and Fallon, B. A. (2016). Cyberchondria: Parsing health anxiety from online behavior. Psychosomatics, 57(4), 390-400. (Erişim tarihi: 13.03.2025)
11. Durak Batıgün, A., Gör, N., Kömürcü, B. ve Şenkal Ertürk, İ. (2018). Cyberchondria Scale (CS): Development, validity and reliability study. Dusunen Adam The Journal of Psychiatry and Neurological Sciences, 31(2), 148-162. (Erişim tarihi: 05.02.2025)
12. Elciyar, K. ve Taşçı, D. (2017). Siberkondri ciddiyet ölçeği'nin Anadolu Üniversitesi İletişim Bilimleri Fakültesi öğrencilerine uygulanması. Abant Kültürel Araştırmalar Dergisi, 2(4), 57-70. (Erişim tarihi: 16.02.2025)
13. Erbaş, N. ve Demirel, G. (2017). Klimakterik dönemdeki kadınların menopoza ilişkin yakınmalarının ve menopozal tutumlarının cinsel yaşam kalitesi üzerine etkisinin değerlendirilmesi. Acıbadem Sağlık Bilimleri Dergisi, 4, 220-225. (Erişim tarihi: 19.03.2025)
14. Faleschini, S., Tiemeier, H., Rifas-Shiman, S. L., Rich-Edwards, J., Joffe, H., Perng, W., Shifren, J., Chavarro, J., Hivert, M.-F., & Oken, E. (2022). Longitudinal associations of psychosocial stressors with menopausal symptoms and well-being among women in midlife. Menopause, 29(11), 1247–1253. https://doi.org/10.1097/GME.0000000000002056 (Erişim tarihi: 21.03.2025)
15. Fergus, T. A. (2014). Cyberchondria and intolerance of uncertainty: Examining when individuals experience health anxiety in response to internet searches for medical information. Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking, 17(12), 772–775. https://doi.org/10.1089/cyber.2014.0172 (Erişim tarihi: 18.03.2025)
16. Fergus, T. A. and Russell, L. H. (2016). Does cyberchondria overlap with health anxiety and obsessive-compulsive symptoms? An examination of latent structure and scale interrelations. Journal of Anxiety Disorders, 38, 88-94. (Erişim tarihi: 02.04.2025)
17. Freeman, E. W., & Sammel, M. D. (2016). Anxiety as a risk factor for menopausal hot flashes: Evidence from the Penn Ovarian Aging cohort. Menopause, 23(9), 942–949. https://doi.org/10.1097/GME.0000000000000662 (Erişim tarihi: 12.03.2025)
18. Gündüz, S., Menopoza giren kadınlar ile menopoza girmeyen kadınların benlik saygısı ve depresyon düzeylerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2019.
19. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/menopause (Erişim tarihi: 20.12.2024)
20. Karaçadır, V. ve Çelik, R. (2019). Üniversite öğrencilerinin sağlık kaygı düzeylerini belirlemeye yönelik bir çalışma. Avrasya Uluslararası Araştırmalar Dergisi, 7(16), 225-238. (Erişim tarihi: 25.12.2024)
21. Karanisoğlu, H. ve Dinç, H., Klimakterik dönem. A. M. Coşkun (Ed.), Kadın sağlığı ve hastalıkları hemşireliği el kitabı, Koç Üniversitesi Yayınları: İstanbul, 2016.

22. Koç, H. (2023). Higher levels of intolerance of uncertainty predict greater levels of smartphone addiction among college students: The serial mediating roles of death anxiety and cyberchondria. ResearchGate. (Erişim tarihi: 13.02.2025)
23. Kurt, G., ve Arslan, H. (2020). Kadınların menopoz döneminde yaşadıkları sağlık sorunları ve baş etme yöntemleri. Çukurova Medical Journal, 45(3), 910–912. https://doi.org/10.17826/cumj.694473 (Erişim tarihi: 13.02.2025)
24. Mac Bride, M. B., Rhodes, D. J., & Shuster, L. T. (2010). Vulvovaginal atrophy. Mayo Clinic Proceedings, 85(1), 87–94. (Erişim tarihi: 17.02.2025)
25. Malaijerdi, R., Amini, L., Haghani, H., & Sadeghi Avval Shahr, H. (2023). Investigating the relationship between menopausal women's health anxiety and sexual performance and attitude towards menopause. Journal of Education and Health Promotion, 12(1), 199. (Erişim tarihi: 19.12.2024)
26. McMullan, R. D., Berle, D., Arnáez, S., & Starcevic, V. (2019). The relationships between health anxiety, online health information seeking, and cyberchondria: Systematic review and meta-analysis. Journal of Affective Disorders, 245, 270–278. https://doi.org/10.1016/j.jad.2018.11.037 (Erişim tarihi: 18.12.2024)
27. Muse, K., McManus, F., Leung, C., Meghreblian, B. and Williams, G. M. J. (2012). Cyberchondriasis: Fact or fiction? A preliminary examination of the relationship between health anxiety and searching for health information on the internet. Journal of Anxiety Disorders, 26, 189-196. (Erişim tarihi: 21.02.2025)
28. Muse, K., McManus, F., Leung, C., Meghreblian, B., & Williams, J. M. G. (2012). Cyberchondriasis: Fact or fiction? A preliminary examination of the relationship between health anxiety and searching for health information on the Internet. Journal of Anxiety Disorders, 26(1), 189–196. (Erişim tarihi: 07.04.2025)
29. Önder, M., Erken menopoz ve normal menopoz: Stres belirtileri, stresle başaçıkma, evlilik uyumu ve cinsiyet rolleri açısından bir karşılaştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Uygulamalı Psikoloji Anabilim Dalı, Ankara, 2014.
30. Özcan, H. ve Oskay, Ü. (2013). Menopoz döneminde semptom yönetiminde kanıta dayalı uygulamalar. Göztepe Tıp Dergisi, 28(4), 157-163. https://doi.org/10.5222/J.GOZTEPETRH.2013.157 (Erişim tarihi: 20.01.2025)
31. Özdelikara, A., Alkan, S. A. ve Mumcu, N. (2018). Hemşirelik öğrencilerinde sağlık algısı, sağlık anksiyetesi ve etkileyen faktörlerin belirlenmesi. Bakırköy Tıp Dergisi, 14(3), 275-282. (Erişim tarihi: 11.02.2025)
32. Özdemir, K., Şahin, S., Güler, D. S., Ünsal, A. and Akdemir, N. (2020). Depression, anxiety, and fear of death in postmenopausal women. Menopause, 27(9), 1030–1036. https://doi.org/10.1097/GME.0000000000001578 (Erişim tarihi: 06.12.2024)
33. Özdemir, K., Şahin, S., Güler, D. S., Ünsal, A., and Akdemir, N. (2020). Depression, anxiety, and fear of death in postmenopausal women. Menopause (New York, N.Y.), 27(9), 1030–1036. https://doi.org/10.1097/GME.0000000000001578 (Erişim tarihi: 05.12.2024)
34. Özyıldız, K. H. ve Alkan, A. (2022). Akademisyenlerin Sağlık Anksiyeteleri İle Siberkondri Düzeyleri Arasındaki İlişkinin İncelenmesine Yönelik Bir Araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 13(33), 309-324. https://doi.org/10.21076/vizyoner.903964 (Erişim tarihi: 16.05.2025)
35. Polat, F. ve Geçici, F. (2021). Menopoz dönemindeki kadınların gözüyle menopoz: Nitel bir araştırma örneği. Turkish Journal of Family Medicine and Primary Care, 15(4), 809-817. (Erişim tarihi: 19.04.2025)
36. Polat, F. ve Karasu, F. (2022). Klimakterik dönemdeki kadınların yaşadıkları menopozal semptomlar ile bütüncül tamamlayıcı ve alternatif tıbba karşı tutumları arasındaki ilişkinin incelenmesi. Anatolian Journal of Health Research, 3(2), 88-94. https://doi.org/10.29228/anatoljhr.62154 (Erişim tarihi: 12.12.2024)
37. Polat, G., Hemşirelerde sağlık anksiyetesi ve siberkondria ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Okan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2020.
38. Simon, J. A. and Reape, K. Z. (2009). Understanding the menopausal experiences of professional women. Menopause, 16(1), 73-76. (Erişim tarihi: 18.01.2025)
39. Sis Çelik, A. ve Pasinlioğlu, T. (2013). Klimakterik dönemde yaşanan semptomlar ve hemşirenin rolü. ERÜ Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi, 1(1), 50-56. (Erişim tarihi: 07.03.2025)
40. Starcevic, V. (2017). Cyberchondria: Challenges of problematic online searches for health-related information. Psychotherapy and Psychosomatics, 86(3), 129-133. (Erişim tarihi: 02.03.2025)
41. Starcevic, V., & Berle, D. (2013). Cyberchondria: Towards a better understanding of excessive health-related internet use. Expert Review of Neurotherapeutics, 13(2), 205–213. https://doi.org/10.1586/ern.12.162 (Erişim tarihi: 12.03.2025)
42. Tanis, M., Hartmann, T. and Te Poel, F. (2016). Online health anxiety and consultation satisfaction: A quantitative exploratory study on their relations. Patient Education and Counseling, 99(7), 1227–1232. (Erişim tarihi: 01.03.2025)

43. Tarhan, N., Tutgun-ünal, A. ve Ekinci, Y. (2021). Yeni kuşak hastalığı siberkondri: Yeni medya çağında kuşakların siberkondri düzeyleri ile sağlık okuryazarlığı ilişkisi. OPUS International Journal of Society Researches, 17(37), 4253-4297. (Erişim tarihi: 15.02.2025)
44. Taylor, S. (2004). Understanding and treating health anxiety: A cognitive-behavioral approach. Cognitive and Behavioral Practice, 11(1), 112-123. (Erişim tarihi: 16.11.2024)
45. Tümer, A. ve Kartal, A. (2018). Kadınların Menopoza İlişkin Tutumları ile Menopozal Yakınmaları Arasındaki İlişki. Pamukkale Medical Journal, 11(3), 337-346. (Erişim tarihi: 06.02.2025)
46. Uzun, S., Pamukkale Üniversitesi çalışanlarında siberkondri düzeyi ve etkileyen etmenler, Uzmanlık Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2016.
47. White, R. W. and Horvitz, E. (2008). Cyberchondria: Studies of the escalation of medical concerns in web search. Journal of Medical Internet Research, 11(1), 26. (Erişim tarihi: 14.02.2025)
48. Wolfradt, U., Oemler, M., Braun, K., & Klement, A. (2014). Health anxiety and habitual rumination: The mediating effect of serenity. Personality and Individual Differences, 71, 130-134. (Erişim tarihi: 01.02.2025)

.

EVALUATION OF SOCIAL SUPPORT PROGRAMS ON LONELINESS AND SOCIAL ISOLATION IN OLDER ADULTS

Büşra DEMİRDAĞ

Lecturer, Karatay University, Faculty of Health Sciences,

busra.duran@karatay.edu.tr

Orcid: 0000-0002-5736-8186

Alime Selçuk TOSUN

Associate Professor Doctor Selcuk University, Faculty of Nursing,

alimetosun@selcuk.edu.tr.

(Sorumlu Yazar)

Orcid: 0000-0002-4851-091

ABSTRACT

Objective: This review study was conducted to evaluate the effectiveness of social support programs developed to address the growing problems of loneliness and social isolation among older adults. **Method:** A comprehensive literature review was conducted using the keywords "elderly individuals, loneliness, social isolation, social support, nursing" across Google Scholar, PubMed, Web of Science, and Academic Search Complete (EBSCOhost) databases. Articles published between 2017 and 2025 were included in the analysis. **Results:** Aging is an irreversible and inevitable process that leads to the decline of various physical, psychological, and social functions. Loneliness and social isolation are increasingly prevalent public health concerns during this period, with multidimensional adverse effects on physical, mental, and cognitive health. A review of the literature reveals that various social support programs designed for older adults are effective in reducing feelings of loneliness, promoting social engagement and connectedness, and enhancing psychological well-being. The reviewed studies include a range of interventions such as home visits, group-based social activities, online communities, and volunteer programs. In addition, it is emphasized that social support programs incorporating technology (e.g., video calls, online social networks) in the evolving digital age are also effective and accessible methods for mitigating social isolation among older adults. **Conclusion:** The existing literature indicates that social support programs for older adults are effective in reducing loneliness and social isolation. These programs particularly enhance older adults' sense of belonging, encourage greater social participation, and contribute positively to overall quality of life. In this context, nurses play a

critical role in supporting older adults in coping with loneliness and isolation, and in developing, implementing, and sustaining comprehensive and multidimensional social support interventions

Keywords; Older adults, loneliness, social isolation, social support, nursing

1. INTRODUCTION

Aging Aging is considered an irreversible process that affects the entire body from cells to systems leading to the deterioration of physical, psychological, and social functions (Karadakovan, 2018). The World Health Organization (WHO) defines individuals aged 65 and over as "elderly." In both developed and developing countries, declining fertility rates and a significant increase in life expectancy have led to substantial changes in the demographic structures of many nations (Mondal et al., 2021). The aging process initially manifests through subclinical forms of various physiological deteriorations. During this process, changes such as a decline in the body's physiological capacity, an increase in chronic diseases, and cognitive impairments (e.g., dementia, Alzheimer's disease) occur. Additionally, changes in family structure and life events such as retirement, which affect social relationships, can lead to social and emotional transformations in individuals (Dand et al., 2024). These transformations negatively impact the quality of life of older adults, increasing their risk of social isolation and loneliness.

Although the concepts of loneliness and social isolation may appear similar, they are not synonymous. Loneliness is a subjective feeling arising from a discrepancy between desired and actual social relationships, often due to the qualitative or quantitative inadequacy of one's social environment (Malli et al., 2023). Social isolation, on the other hand, is defined as a lack of social contacts and the absence of individuals with whom one can regularly interact (Veazie et al., 2019). In addition to common health problems associated with aging, both loneliness and social isolation can adversely affect physical and mental well-being (Shankar, 2023). The literature indicates that loneliness and social isolation, which are more commonly observed among older adults, can lead to health issues such as depression, anxiety, cognitive decline, smoking, physical inactivity, and hypertension, and can increase both morbidity and mortality rates (Holt-Lunstad, 2021; Shankar, 2023). These adverse outcomes affect not only individuals but also the broader social and economic fabric of society. Loneliness and social isolation raise overall costs by increasing the demand for healthcare services and placing a greater burden on social security systems (Casal et al., 2025; Ng, 2024). Considering their negative effects on health and well-being, these issues have become significant concerns that require intervention by both the public sector and policymakers. At this point, social support programs play a crucial role in preventing the deepening of social isolation and loneliness among older adults, providing support, and enhancing their quality of life.

Social support programs are interventions designed to combat social isolation and loneliness in older populations, and their positive effects have been demonstrated in the literature

(Welcve, 2023; Jones et al., 2024; Reinhard et al., 2021). Moreover, social support refers to the social ties involving individuals, groups, and communities that are capable of providing assistance to a person. Social support tends to decline with age, and there is a direct relationship between social support, loneliness, and social isolation. Research has shown that older adults with higher levels of social support experience lower levels of loneliness and social isolation (Sulandari et al., 2024; Xie et al., 2023). In light of these findings, the impact of social support programs on the social lives of older individuals gains importance. Interventions aimed at reducing loneliness and social isolation not only help prevent the social exclusion of older adults but also support the development of their social skills and contribute to their psychosocial well-being (Shekelle et al., 2024; Zaharia et al., 2024). Therefore, this study aims to examine the effectiveness of social support programs developed to address the growing issues of loneliness and social isolation among older adults. The research seeks to evaluate the role of support mechanisms implemented to enhance psychosocial well-being, increase social participation, and improve the quality of life among elderly individuals.

2. METHOD

In this study, a literature review was conducted using the keywords 'elderly individuals, loneliness, social isolation, social support, nursing' as well as their Turkish equivalents, through databases such as Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, Web of Science, and Springer Nature. Articles published between 2017 and 2025, available in full text and written in English or Turkish, were included in the review.

3. RESULTS

It Community-based interventions have been found to yield positive outcomes in reducing loneliness and social isolation among older adults. Such interventions include technology-assisted programs, psychotherapy, cognitive-behavioral therapies, and group-based approaches such as art workshops, peer support groups, and exercise sessions.

In today's world, innovative solutions have become increasingly important in addressing loneliness and social isolation. Notably, various communication technologies are now being widely adopted for this purpose. Social media platforms, online communities, and video calling tools which help eliminate physical distance are known to have significant potential in mitigating loneliness and social isolation (Balki et al., 2022; Phang et al., 2023). Technology-based solutions facilitate the strengthening of social connections among older adults at both individual and societal levels. Furthermore, they promote autonomy and encourage re-engagement in social life. In a scoping review conducted by Welcve et al. (2023), which aimed to examine current technological approaches used to reduce loneliness and social isolation in older adults, a total of 200 articles were reviewed. The review found that the most commonly used interventions were digital tools designed to enhance social interaction through video conferencing and telephone communication. Within this context, social support robots and virtual pets have also been employed as digital interventions to alleviate loneliness among older adults, with evidence showing positive outcomes. In particular, interactive, AI-powered robotic solutions capable of responding to commands have been shown to

address emotional needs and foster more meaningful social experiences.In a meta-analysis conducted by Hoang and King (2022), which evaluated 70 studies on interventions for reducing loneliness and social isolation among older adults, several effective approaches were identified. These included animal-assisted therapy, multicomponent programs, physical exercise, technological interventions, cognitive behavioral therapy, and psychotherapy. The analysis emphasized that interventions conducted regularly and over extended periods were more effective, highlighting the importance of sustaining digital interventions and enhancing them through AI support. In a separate study examining the potential of AI-powered personal voice assistants to reduce loneliness among older adults, 34 participants who interacted with the assistant for at least 30 minutes daily over a three-month period experienced a reduction in loneliness and an increase in perceived social support (Jones et al., 2024). These technologies were also found to promote cognitive stimulation, thereby supporting mental functioning. A study conducted in Australia aimed at reducing social isolation through video conferencing on customized tablets found the intervention effective (Banbury et al., 2017). Similarly, research in residential aged care facilities that used technologies such as social networks, photo sharing, and video conferencing reported decreased loneliness among residents with access to these tools (Delello & McWhorter, 2017). These findings suggest that digital connectivity allows older adults in institutional settings to maintain relationships with friends and family, thereby enhancing their psychosocial well-being. In another evaluation following a four-week social media training workshop involving 36 cognitively healthy individuals aged 65 and over, a reduction in loneliness was observed (Quinn, 2021). Such digital literacy programs have been shown to improve both technological skills and social confidence among older adults. Addressing disparities in technology access is also emphasized as essential for making these interventions more inclusive..

Psychotherapy and cognitive behavioral therapy (CBT) are among the most effective individual interventions for reducing loneliness and social isolation in older adults. These therapeutic approaches help older individuals cope with challenges in social relationships and enable them to identify and restructure negative thought patterns (Dworschak et al., 2024; Jarvis et al., 2019). Additionally, they support emotional awareness, strengthen social communication skills, and encourage more active social engagement. Several randomized controlled trials have demonstrated that psychotherapy and CBT sessions administered to older adults effectively reduce feelings of loneliness and depressive symptoms (Jarvis et al., 2021; Reinhard et al., 2021). For instance, Smith et al. (2021) reported that their CBT program designed to reduce depression and anxiety, which are key variables associated with loneliness significantly decreased participants' levels of loneliness. A meta-analysis by Hoang et al. (2022), which examined interventions targeting loneliness and social isolation among individuals aged 65 and older, found that approaches including psychotherapy and CBT produced statistically significant and positive results. Similarly, a randomized controlled trial conducted by Reinhard et al. (2021) with older adults diagnosed with persistent depressive disorder found that a 10-week cognitive therapy intervention led to a significant reduction in both loneliness and depressive symptoms. In another study, Jarvis et al. (2019) implemented a CBT-based intervention for socially isolated older adults

in a nursing home, which resulted in a statistically significant decrease in loneliness. A key strength of these therapies is their capacity to help older adults restructure negative attitudes toward social environments and recognize maladaptive thought patterns related to social experiences. Furthermore, evidence suggests that delivering these interventions through online platforms or telephone can be as effective as in-person sessions (Shekelle et al., 2024; Hough et al., 2024). This expands access to psychosocial support for older adults who are unable to leave their homes due to physical limitations, chronic illnesses, geographic distance, or circumstances such as a pandemic. These findings underscore the effectiveness of digital platforms in providing psychosocial support and reducing loneliness and social isolation among older populations. Consequently, cognitive therapies targeting distortions associated with loneliness contribute to the development of social relationships and promote more active social engagement. Moreover, these interventions, which enhance psychosocial well-being, play a vital role in strengthening social connections (Jarvis et al., 2019). Therefore, it is recommended that psychotherapy and cognitive behavioral therapy be systematically integrated into community-based interventions and clinical practice.

Group-based interventions are considered effective strategies for reducing loneliness and social isolation. These interventions are particularly beneficial for strengthening social relationships among older adults and positively contributing to their psychological well-being. In an intervention study conducted in Australia, Siette et al. (2021) evaluated a socially oriented program involving excursions for older adults. The study found that participants who took part in community outings and group activities experienced improved quality of life and reduced levels of social isolation. Similarly, a study among Chinese immigrants living in Canada found that individuals who regularly participated in peer support programs reported increased perceived social support and decreased loneliness (Lai et al., 2020). A systematic review and meta-analysis by Hoang et al. (2024) concluded that interventions aimed at reducing loneliness and social isolation in older adults demonstrated a moderate effect size. The study also highlighted the importance of group-based interventions in maintaining sustainable social relationships. In a study conducted with older adults residing in a nursing home in Turkey, participants engaged in a group reminiscence therapy program held once a week for 30–45 minutes over six weeks. The findings showed a reduction in loneliness levels and a significant increase in life satisfaction (Balcı et al., 2022). Another study by Gen et al. (2025) examined the relationship between a multicomponent intervention program and changes in loneliness and physical activity among older adults. Following the eight-week program, a statistically significant reduction in loneliness with a moderate effect size was observed, along with enhanced formation of social relationships. The inclusion of components such as cognitive stimulation, physical activity, and educational sessions alongside opportunities for social interaction underscores the multifaceted benefits of such programs. Additionally, culture-based activities including music sessions, traditional art workshops, and storytelling groups play a vital mediating role in enhancing older adults' subjective well-being, strengthening social ties, and fostering a sense of belonging (Viola et al., 2024; Dhokai et al., 2023). Moreover, technology-assisted group activities such as online meetings, virtual chat environments, and digital art therapy have proven effective, particularly for older adults with mobility limitations, and significantly

contribute to reducing social isolation. Overall, these studies indicate that group-based exercise programs, internet literacy training, and culture-oriented activities yield effective outcomes in addressing the common issues of loneliness and social isolation in later life. Collectively, this body of evidence demonstrates that group-based programs supporting social engagement among older adults provide strong and consistent evidence for mitigating loneliness (Gen et al., 2025; Mandayam et al., 2024; Lin et al., 2020).

4. CONCLUSIONS

Findings from the literature review reveal that loneliness and social isolation among older adults have multifaceted negative effects on biological, psychological, and social health. These conditions directly impact the overall well-being and quality of life of older individuals.

The reviewed studies indicate that technology-assisted interventions, psychotherapy, and cognitive behavioral therapy whether delivered individually or through group-based formats are effective in enhancing social interaction and reducing loneliness and social isolation in older adults. Notably, multicomponent interventions that combine both individual and group-based approaches appear to be particularly effective in promoting psychosocial well-being and improving quality of life. For researchers, it is essential to evaluate the effectiveness of such interventions, especially among vulnerable subgroups such as immigrant older adults, individuals living alone, and those residing in rural areas.

5. RESOURCES

Balcı, A. S., Kolaç, N., Köse, M., Safa, İ., & Öğüt Düzen, K.. Effect of group reminiscence therapy on the loneliness, depression and life satisfaction of the elderly in the nursing homes: A randomized controlled trial. Acıbadem Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 13,3, 394–399, 2022.

Balki, E., Hayes, N., & Holland, C. Effectiveness of technology interventions in addressing social isolation, connectedness, and loneliness in older adults: systematic umbrella review. JMIR aging, 5,4, 1-10, 2022.

Banbury, A., Chamberlain, D., Nancarrow, S., Dart, J., Gray, L., & Parkinson, L. Can videoconferencing affect older people's engagement and perception of their social support in long-term conditions management: a social network analysis from the Telehealth Literacy Project. Health & Social Care İn The Community, 25,3, 938-950, 2017.

Casal, B., Rodríguez-Miguez, E., & Rivera, B. The societal cost of ‘unwanted’loneliness in Spain. The European Journal of Health Economics, 1-13, 2024.

Dang, M., Chen, Y., Ji, J. S., Zhang, Y., Chen, C., & Zhang, Z. The association between household and family composition and mental health of the elderly: mediating role of lifestyle. BMC Public Health, 24(1), 1-9, 2024.

Delello, J. A., & McWhorter, R. R. Reducing the digital divide: Connecting older adults to iPad technology. Journal of Applied Gerontology, 36,1, 3-28, 2017.

Dhokai, N., Matto, H., Ihara, E. S., Tompkins, C. J., Caswell, S. V., Cortes, N., ... & Ambegaonkar, J. P. Community arts engagement supports perceptions of personal growth in older adults. Journal of Aging Studies, *66*, 2023.

Dworschak, C., Heim, E., Kuhn, N., Schwager, J., Tröster, A., & Maercker, A. User-centered development of an internet-based CBT intervention for the treatment of loneliness in older individuals. Internet Interventions, 35, 1-10,2024.

Gen, T., et al. (2025). Intervention for social frailty focusing on physical activity and reducing loneliness: A randomized controlled trial. PubMed. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39829964/

Karadakovan A, Aslan FE. Dahili ve cerrahi hastalıklarda bakım. Ed: Karadakovan A, 1.baskı, Ankara,Akademisyen kitapevi, s. 727-729,2011

Hoang, P., King, J. A., Moore, S., et al. Interventions to reduce loneliness in community-living older adults: A systematic review and meta-analysis. Journal of General Internal Medicine, 39, 1015–1028,2024.

Hoang, P., King, J. A., Moore, S., Moore, K., Reich, K., Sidhu, H., ... & McMillan, J. Interventions associated with reduced loneliness and social isolation in older adults: a systematic review and meta-analysis. JAMA Network Open, *5*,10, 1-10,2022

Holt-Lunstad, J. Loneliness and social isolation as risk factors: The power of social connection in prevention. American Journal of Lifestyle Medicine, *15*,5, 567-573,2021.

Hough, K. A., Tha, S. H., Perissinotto, C. M., Burnes, P., & Kotwal, A. A. A proactive phone intervention for older adults to address loneliness identified by a health plan. Annals of the New York Academy of Sciences, 1540,1, 191-199,2024

Jarvis, M. A., Padmanabhanunni, A., & Chipps, J. An evaluation of a low-intensity cognitive behavioral therapy mHealth-supported intervention to reduce loneliness in older people. International Journal of Environmental Research and Public Health, *16*,7, 1305-1309,2019.

Jones, V. K., Yan, C., Shade, M. Y., Boron, J. B., Yan, Z., Heselton, H. J., ... & Dube, V. Reducing loneliness and improving social support among older adults through different modalities of personal voice assistants. Geriatrics, 9,2, 22-30,2024.

Lai, DWL, Li, L. ve Daoust, GD. Kanada'daki yaşlı Çinli göçmenler arasında sosyal destek ve yalnızlık: Kişinin sosyal desteğinin aracılık rolü. Kültürlerarası Gerontolo Dergisi,https://doi.org/10.1007/s10823-020-09388,2020

Lin, X., et al. Effectiveness of a peer-based intervention on loneliness and social isolation of older Chinese immigrants in Canada: A randomized controlled trial. BMC Geriatrics.2020https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32958076/

Malli, M. A., Ryan, S., Maddison, J., & Kharicha, K. Experiences and meaning of loneliness beyond age and group identity. Sociology of Health & Illness, *45*,1, 70-89,2023

Mandayam, J., et al. The effects of volunteering on loneliness among lonely older adults: the HEAL-HOA dual randomised controlled trial. The Lancet Healthy Longevity.2024

Mondal, N. I., Nuruzzaman, K., Chowdhury, M. & Islam, S. Changing population of age structure and ıts ımplications for development. Florya Chronicles of Political Economy, 7,1, 27-39,2021.

Ng, I. K. The 'loneliness' epidemic: a new social determinant of health?. Internal Medicine Journal, *54*,3, 365-367,2024.

Phang, J. K., Kwan, Y. H., Yoon, S., Goh, H., Yee, W. Q., Tan, C. S., & Low, L. L. Digital intergenerational program to reduce loneliness and social isolation among older adults: realist review. JMIR Aging, *6*,1, 3-10,2023.

Quinn, K. Social media and social wellbeing in later life. Ageing & Society, *41*,6, 1349-1370,2021

Reinhard, M. A., Zentz, K., Nenov-Matt, T., Barton, B. B., Rek, S. V., Goerigk, S., ... & Padberg, F. Cognitive behavioral analysis system of psychotherapy reduces loneliness in patients with persistent depressive disorder. Journal of Affective Disorders Reports, *5*, 100171,2021.

Shankar, R. Loneliness, social isolation, and its effects on physical and mental health. Missouri Medicine, 120,2, 106-109,2023.

Shekelle, P. G., Miake-Lye, I. M., Begashaw, M. M., Booth, M. S., Myers, B., Lowery, N., & Shrank, W. H. Interventions to reduce loneliness in community-living older adults: A systematic review and meta-analysis. Journal of General Internal Medicine, 39,6, 1015-1028,2024

Siette, J., Cassidy, M. ve Priebe, S. Yalnızlık ve sosyal izolasyonu azaltmada sosyal reçeteleme programlarının etkinliği: Bir sistem. BMK, 2024. 1https://doi.org/10.1186/s12889-021-119

Smith, R., Wuthrich, V., Johnco, C., & Belcher, J. Effect of group cognitive behavioural therapy on loneliness in a community sample of older adults: a secondary analysis of a randomized controlled trial. Clinical Gerontologist, 444, 439-449,2021.

Sulandari, S., Coats, R. O., Miller, A., Hodkinson, A., & Johnson, J. A systematic review and meta-analysis of the association between physical capability, social support, loneliness, depression, anxiety, and life satisfaction in older adults. The Gerontologist, 64,11, 1-10,2024.

Veazie, S., Gilbert, J., Winchell, K., Paynter, R., & Guise, J. M. Addressing social isolation to improve the health of older adults: a rapid review,2019.

Viola, E., Martorana, M., Ceriotti, D., De Vito, M., De Ambrosi, D., & Faggiano, F. The effects of cultural engagement on health and well-being: a systematic review. Frontiers in Public Health, 12, 1-10,2024.

Welch, V., Ghogomu, E. T., Barbeau, V. I., Dowling, S., Doyle, R., Beveridge, E., ... & Mikton, C. Digital interventions to reduce social isolation and loneliness in older adults: an evidence and gap map. Campbell Systematic Reviews, 194,1-10,2023.

Xie, X., Huang, C., Sitar, S., & Qiao, X. Community engagement and loneliness in older adults in China: mediation effects of social support in the wake of COVID-19. Frontiers in Public Health, 11, 1199577,2023.

Zaharia, G., Ibáñez-del Valle, V., Cauli, O., & Corchón, S. The Long-Lasting Effect of Multidisciplinary Interventions for Emotional and Social Loneliness in Older Community-Dwelling Individuals: A Systematic Review. Nursing Reports, 14,4, 3847-3863,2024.

World Health Organization, 2022. Ageing and health, Erişim adresi, https://www.who.int/news-room/fact- sheets/detail/ageing-and health#:~:text=In%202020%2C%20the%20number%20of,from%2012%25%20to%2022%25

TOXICOGENETIC ANALYSIS OF *SOD1* rs36232792 VARIANT AND ANTIOXIDANT ENZYME LEVELS IN METHAMPHETAMINE USERS

Sercan POLAT[1], Meltem TEPE[2], Selin ÖZKAN-KOTİLOĞLU[3], Özlem DOĞAN[4], Mustafa DANIŞMAN[5], Dilek AKYÜZLÜ[6]*

[1]Ankara University/Institute of Forensic Sciences, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0005-8809-5124, sercan-polat@yandex.com

[2]Ankara University/Institute of Forensic Sciences, ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-5118-747X, meltemtpee@gmail.com

[3]Ankara University/Institute of Forensic Sciences,
[3]Kırşehir Ahi Evran University/Department of Molecular Biology and Genetics, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-2262-5613, selin.ozkan@ahievran.edu.tr

[4]Ankara University, Faculty of Medicine, Department of Medical Biochemistry, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3078-999X, ozlemdogan@ankara.edu.tr

[5]Ankara Training and Research Hospital, AMATEM Clinic,
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7403-8840, drmustafadanisman@gmail.com

[6]Ankara University/Institute of Forensic Sciences, ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3305-0587, kaya@ankara.edu.tr

ABSTRACT

Methamphetamine is a synthetic psychostimulant with a high potential for addiction in our country and around the world, and its effects vary greatly depending on the dose, chemical form and method of use. Oxidative stress, which plays an important role in substance use disorders, may vary depending on genetic and lifestyle factors. The enzyme superoxide dismutase (*SOD*) is the main enzyme system involved in scavenging free radicals produced by drugs of abuse. The *SOD* enzyme catalyzes the reaction by oxidation of the superoxide radical to an oxygen molecule and then reduction of it to another superoxide, hydrogen peroxide. This study aimed to determine the effect of rs36232792 in the *SOD1* gene on risk of methamphetamine use disorder and plasma *SOD* levels. Fifty individuals who use methamphetamine and 53 individuals with no history of past or current drug use were included in the study. The *SOD1* rs36232792 genotypes were determined by the

PCR method and the plasma levels of SOD were determined by the ELISA method. The frequency of the Del allele of the *SOD1* rs36232792 was 12% in methamphetamine users and 14% in control subjects. Methamphetamine users had lower plasma *SOD* levels (58.72 ng/ml) than controls (71.41 ng/ml). No statistically significant difference was found between methamphetamine users and controls regarding *SOD1* rs36232792 allele frequencies and plasma *SOD* levels ($p>0.05$). In conclusion, the *SOD1* rs36232792 was not found to be associated with plasma *SOD* levels and risk of methamphetamine use in Turkish individuals.

Key words: Methamphetamine, Individual variability, Superoxide Dismutase, *SOD1* rs36232792

1. INTRODUCTION

Substance use disorder occurs when biological, psychological and environmental factors interact with each other, affecting an individual's health in a multidimensional way. It is a complex, recurring disorder that reduces quality of life and causes economic and social problems (Levran et al., 2012; Tam and Foo, 2012; Whitesell et al., 2013). Methamphetamine is a psychostimulant belonging to the amphetamine class. It exists in two forms: l- and d-. D-methamphetamine is 3–5 times more potent than L-methamphetamine in terms of its psychostimulant effect on the central nervous system. However, both forms increase the release of dopamine and decrease its reabsorption (Ciccarone, 2011). Methamphetamine is a molecule with lipophilic and cationic properties that produces strong stimulant effects in the central nervous system. It increases the release of monoamines, such as dopamine (DA), noradrenaline (NA) and serotonin (5-HT), into the synaptic gap, prolonging their activity by inhibiting reuptake. The dopamine transporter (DAT), noradrenaline transporter (NET), and serotonin transporter (SERT) interact with the vesicular monoamine transporter 2 (VMAT2) to reverse their function. This, in turn, causes monoamines to be released from synaptic vesicles into the synapse gap. Monoamines released in the presence of methamphetamine affect the dopaminergic, noradrenergic and serotonergic pathways in the brain. In the dopaminergic system, it causes euphoria by activating the mesolimbic and mesocortical circuits, as well as the nigrostriatal pathway. In the noradrenergic system, meanwhile, it plays an important role in regulating arousal, alertness, attention, and cognitive function. In the serotoninergic system, it regulates respiration, pain perception, sex drive, the sense of reward and cognitive function (Courtney and Ray, 2014). The continuous use of methamphetamine can cause toxic effects and damage various organs, including the heart, brain, liver, kidneys and eyes. This is due to factors such as the route of administration, dosage, genetic polymorphism and polysubstance abuse (Ramli et al., 2025). Due to impaired dopamine metabolism and increased release of free dopamine into the cell, methamphetamine is attempted to be broken down by monoamine oxidase (MAO). During this process, MAO produces reactive oxygen species (ROS), such as hydrogen peroxide. The resulting ROS cause oxidative stress and toxicity in the cell (Limanaqi et al., 2018).

Superoxide dismutase (SOD) is a type of enzyme belonging to the oxidoreductase class. It contains a metal ion at its catalytic centre and is one of the key components of the body's antioxidant defence

system (Ighodaro and Akinloye, 2018). SOD is present in almost all living cells and is the enzyme that directly removes free radicals (Islam et al., 2022). It converts the harmful superoxide anions formed inside the cell into less harmful oxygen molecules and hydrogen peroxide. This process requires metal ions in order to be effective as an antioxidant (Parent, 2015). These proteins protect intracellular and extracellular structures from oxidation, depending on the location of the SOD enzyme. Cytoplasmic Cu/Zn SOD is found in the chloroplasts of plants and in the mitochondria and peroxisomes of both eukaryotic and prokaryotic cells, while Mn-SOD is located in the mitochondria of eukaryotic cells. Extracellular Cu/Zn SOD is mostly distributed in the cytosol of eukaryotes. While intracellular *SOD*s play a role in reducing oxidative stress by eliminating the toxic effects of superoxide anion radicals, the SOD enzyme in the extracellular matrix and extracellular fluids contributes to the defence system by protecting cells against reactive oxygen species produced by pathogens (Schatzman et al., 2020; Tamayo et al., 2016).

Different variations in the genetic makeup of SOD have been linked to various diseases. SOD can affect the effectiveness of the body's antioxidant defences, which may be crucial in determining the severity of the biological response to oxidative damage (Borgstahl and Oberley-Deegan, 2018). Therefore, genetic polymorphisms make variations in oxidative stress-related genes more important. The effects of variations in the SOD1 gene, which plays a central role in the body's antioxidant defence system, are becoming increasingly important. The aim of this study was to determine the effect of the rs36232792 polymorphism in the *SOD1* gene, which encodes the enzyme superoxide dismutase, on the risk of methamphetamine use disorder and plasma SOD levels in individuals with the disorder.

2. MATERIALS AND METHODS

This study included 50 individuals diagnosed with methamphetamine dependence according to DSM-5 criteria, who had applied to the Alcohol and Substance Dependence Treatment Centre at Ankara Training and Research Hospital (n=50). The study did not include individuals using illicit substances other than methamphetamine. A control group of 53 healthy individuals who had not previously or currently used any addictive substances was included (n=53). These individuals were matched with those with methamphetamine use disorder based on gender and smoking habits.

The inclusion criteria for individuals with a methamphetamine use disorder are as follows: (i) being aged 18–65, (ii) be a smoker, and (iii) being literate.The exclusion criteria are as follows: (i) vaving been diagnosed with an additional psychiatric disorder, (ii) illiteracy.

Written informed consent was obtained from all participants before they took part in the study. Sampling was conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki, and approval was obtained from the institutional ethics committee (Approval No.: I03-I09-22).

Each participant filled out a form including information about sociodemographic (age, marital status, educational status, employment status, military service, prison history and ongoing probation file), medical history (weight, height, history of medical illness, additional psychiatric history, current medication and smoking) and substance use history (duration of use, pattern of use, daily/weekly substance intake, age at first substance use, family history of substance use, longest time without substance use).

Venous blood samples were collected from all individuals in two tubes containing EDTA. One of these samples was stored at -20°C until the DNA isolation. The plasma was separated from the second blood sample tube in order to determine the plasma SOD level. It was then stored at -20°C until analysis. Plasma *SOD* levels were measured using the ELISA method.

Genomic DNA was isolated from blood samples using the QIAamp DNA Blood Mini Kit (Qiagen), following the manufacturer's instructions. The *SOD1* rs36232792 polymorphism was genotyped using the polymerase chain reaction (PCR) method. A 25 µl mixture was prepared for PCR amplification: This contained 10x PCR buffer, 10 pmol/µl of both the forward and reverse primers, 1.25 mM $MgCl_2$, 0.125 U/µl Taq DNA polymerase, 0.4 mM dNTPs, and 2 µl of genomic DNA. The forward (F) and reverse (R) primer sequences were 5'-AATTCCTTACCCCTGTTCTA-3' and 5'-GGCAGATTTCAGTTCAGTTCATTGT-3', respectively. The PCR steps were planned as follows: initial denaturation at 94°C for 5 minutes; denaturation at 94°C for 0.5 minutes; binding at 57°C for 0.5 minutes; elongation at 72°C for 0.5 minutes; and elongation at 72°C for 10 minutes. The PCR products were separated by 3% agarose gel electrophoresis, visualised using ethidium bromide under UV light, and analysed using the Syngene Gel Imaging System (Figure 1).

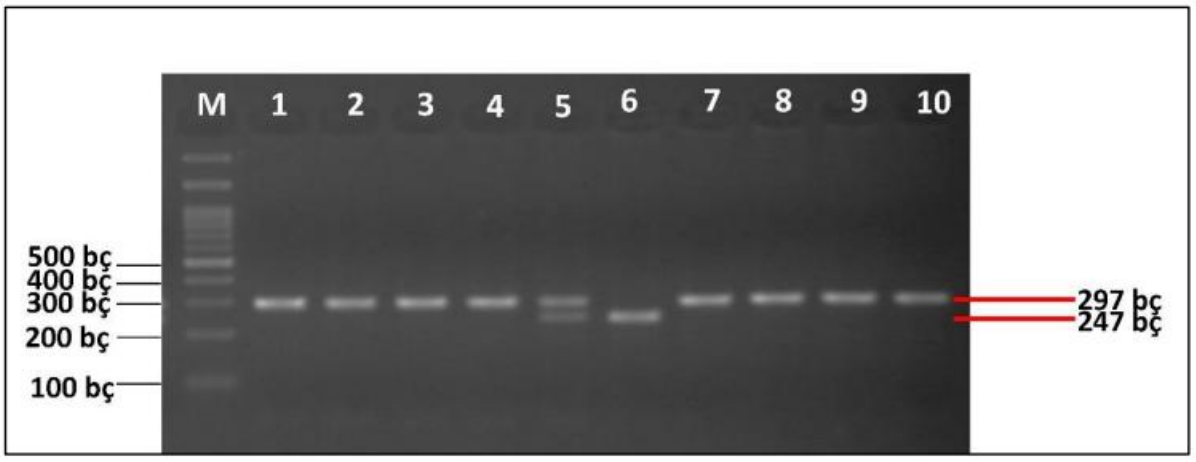


Figure 1. *SOD1* rs36232792 polymorphism on agarose gel. M: 100 bp ladder; 1-4, 7-10: Ins (297 bp); 5: Ins/Del (297 and 247 bp); 6: Del/Del (247 bp)

The results of the study were analyzed comparatively and statistically using the SPSS program. The Kolmogorov-Smirnov test was used to determine whether the data were normally distributed.

For non-normally distributed quantitative data, the median and interquartile range (IQR) are presented. The genotypes and allele frequencies were calculated, and the Hardy–Weinberg equilibrium was tested. When comparing two groups, a Mann–Whitney U-test was used. The chi-squared test was used to examine the relationship between group variables and identify differences. Binary logistic regression analysis was used to model the relationship between *SOD1* rs36232792 and methamphetamine use disorder. $p<0.05$ was considered statistically significant.

3. RESULTS

Table 1 shows the socio-demographic data of the 50 individuals with methamphetamine use disorder (MUD) and the 53 healthy individuals included in the study. The median ages of the methamphetamine use disorder (MUD) and control groups were 32.5 (IQR: 28.75-36.25) and 30.00 (IQR: 27.5-33.00), respectively. No significant difference was observed when median age was compared (p=0.076). Statistically significant differences were found in relation to marital status (p=0.001), people living with (p=0.001), education (p=0.001), disciplinary punishment at school (p=0.023), employment status (0.001), prison history (p=0.001), ongoing probation file (p=0.001) and punishment in military service (p=0.002).

With regard to methamphetamine use, 4% of individuals with MUD reported using it with foil, 86% with a pipe, 4% with both foil and a pipe, 2% by injection and 2% by both methods. Individuals with MUD had used substances for an average of two years (IQR: 1.00–4.00 years). They consumed an average of 1.00 g of methamphetamine daily (IQR: 0.50–2.00 g), and initiated methamphetamine use at an average age of 18 years (IQR: 15–26 years).

Table 1: Socio-demographic characteristics of the individuals participated in the study

Parameters		**MUD (n=50)**		**Healthy Controls (n=53)**		**p value**
Age	median	32.5		30.00		0.076
	IQR	(28.75-36.25)		(27.5-33.00)		
Weight	median	69.50		80.00		0.001
	IQR	(60.00-85.00)		(75.00-90.00)		
Height	median	171.5		174.5		0.001
	IQR	(169.75-178.00)		(172.00-181.50)		
Parametres		Frequency	Percent (%)	Frequency	Percent (%)	p value
Sex	Male	50	100	53	100	0.830

	Female	--	--	--	--	
Marital status	Single	30	60	16	30.2	0.001
	Married	16	32	37	69.8	
	Widow/Divorced	4	8	--	--	
People lived with	Single	7	14	12	22.6	0.001
	Partner	1	2	--	--	
	Wife/Husband	12	24	34	64.2	
	Family	30	60	7	13.2	
Education	Primary	14	28	--	--	0.001
	Secondary	15	30	--	--	
	High School	17	34	23	43.4	
	Graduate	4	8	30	56.6	
	Master	--	--	--	--	
Disciplinary action at school	No	44	88	52	98.1	0.023
	Yes	6	12	1	1.9	
Occupation	Not working	29	58	--	--	0.001
	Working	21	42	53	100	
Prison History	No	20	40	52	98.1	0.001
	Yes	30	60	1	1.9	
Judicial Supervision	No	31	62	52	98.1	0.001
	Yes	19	38	1	1.9	
Disciplinary action during Military Services	No	41	82	51	96.2	0.002
	Yes	9	18	2	3.8	
Method of Methamphetamine use	Foil	2	4	--	--	
	Pipe	43	86	--	--	
	Foil. Pipe	2	4	--	--	
	Injection	1	2	--	--	
	Foil. Injection	1	2	--	--	
Duration of Methamphetamine use (year)	median	2.00		--		
	IQR	(1.00-4.00)				
Methamphetamine (gr/day)	median	1.00		--		

	IQR	(0.50-2.00)		
Age of first methamphetamine use (years)	median	18.00	--	
	IQR	(15.00-26.00)		

Table 2 shows the plasma SOD levels of the individuals participating in the study. The *SOD* levels of individuals with MUD were 58.72 (IQR: 46.44-119.75), while those of healthy individuals were 71.41 (IQR: 41.79-237.6). No statistically significant difference was observed between the two groups (p=0.435).

Table 2: Comparison of plasma *SOD* levels in methamphetamine users and control group

Plasma SOD level	**MUD (n=50)**	**Healthy Controls (n=53)**	**p value**
SOD levels (ng/ml)	58.72 (46.44-119.75)	71.41 (41.79-237.6)	0.435

The genotype frequencies of the *SOD1* rs36232792 polymorphism in healthy individuals and in individuals with MUD are shown in Table 3. The genotype frequencies were 2%, 20% and 78% for Del/Del, Ins/Del and Ins/Ins, respectively, in individuals with MUD. In the control group, the frequencies were 1.9%, 24.5% and 73.6%, respectively. The frequency of variant allele (Del) was 12% for individuals with MUD and 14% for healthy individuals. There was no significant difference in genotype frequencies between the two groups (p=0.859).

Table 3: *SOD1* rs36232792 frequencies of methamphetamine users and controls

***SOD1* rs36232792 Genotypes**	**MUD (n=50)**		**Healthy Controls (n=53)**		**p value**
	n	**%**	**n**	**%**	
Del/Del	1	2.0	1	1.9	0.859
Ins/Del	10	20	13	24.5	
Ins/Ins	39	78.0	39	73.6	
Variant allele freq.	12%		14%		
HWE	$\chi2$=0.14; p=0.70		$\chi2$=0.004; p=0.94		

Table 4 shows the effect of the *SOD1* rs36232792 polymorphism on the plasma SOD levels. In individuals with MUD, the plasma SOD levels of individuals with the Del/Del genotype (69.68

ng/ml) were higher than those of individuals with the Ins/Del genotype (57.97 ng/ml). However, there was no significant difference between the two groups (p = 0.297). In the control group, individuals with Ins/Ins genotype (76.43 ng/ml) had higher plasma SOD level than those with Ins/Del+Del/Del genotypes (44.64 ng/ml). However, there was no statistically significant difference between the two genotype groups (p=0.176).

4. DISCUSSION

SOD is an important component of the body's antioxidant enzyme system. It converts superoxide anion radicals (O2) into hydrogen peroxide (H2O2) (Cantemir et al., 2016). SOD1 is located in the membrane between the cytosol and the mitochondria and is responsible for the vast majority of SOD activity. The *SOD1* gene is approximately 9307 bp (base pairs) long and is located in the 21q22.11 region of chromosome 21. The gene consists of five exons and four introns. Certain polymorphisms in the SOD1 gene can affect both gene expression and enzyme activity (Zelko et al., 2002).

Table 4: The effect of *SOD1* rs36232792 polymorphism on plasma SOD levels in methamphetamine users and control group

	MUD (n=50)		**Healthy Controls (n=53)**	
Plasma SOD Levels (ng/ml)	***SOD1* rs36232792 Genotypes**			
	Ins/Ins (n=39)	**Del/Del (n=11)**	**Ins/Ins (n=39)**	**InsDel/DelDel (n=14)**
IQR	57.97 (45.25-111.2)	69.68 (47.15-204.52)	76.43 (46.19-240.88)	44.64 (37.36-194.96)
p value	p=0.297 Z=1.042 U=165.5		p=0.176 Z=1.353 U=189.5	

The rs36232792 polymorphism is located in the promoter region of the *SOD1* gene, 1684 bp upstream of the ATG start codon, and involves the deletion of a 50 bp sequence. This deletion results in reduced promoter activity and decreased mRNA levels. Consequently, it may impact the detoxification of ROS (Milani et al., 2012). A 2017 study investigating the relationship between the *SOD1* rs36232792 polymorphism, mRNA levels, and heroin addiction in the Iranian population reported that this polymorphism decreased SOD1 expression levels in heterozygous individuals (Ins/Del). However, heroin addiction was not associated with the *SOD1* rs36232792 polymorphism (Saify and Saadat, 2017). The same population was investigated for the association between the *SOD1* rs36232792 polymorphism and methamphetamine use. Although the Ins/Del genotype frequency was lower in methamphetamine users (n=65) than in the control group, no statistically

significant association was found (Saify and Saadat, 2018). Another study investigating the effects of opioid use disorder and polymorphism found that the frequency of the Ins/Del+Del/Del genotypes was lower in opioid addicts than in the control group. It is thought that the Ins allele of the polymorphism may be a risk factor for opioid use disorder (Küçükparmaksız et al., 2025). Although previous studies have suggested a potential association between the *SOD1* rs36232792 polymorphism and opioid use disorder, no significant relationship has been identified with methamphetamine use disorder. Consistent with these findings, our study also did not find a statistically significant association between the *SOD1* rs36232792 polymorphism and methamphetamine use. However, differences in SOD levels among individuals with different genotypes were observed, which may provide insight into the role of oxidative stress in substance use disorders. These findings highlight the complex and multifactorial nature of genetic contributions to addiction. Therefore, further research involving larger sample sizes and considering environmental factors is warranted to better understand the genetic mechanisms underlying methamphetamine use disorder.

5. CONCLUSION

The findings suggest that the *SOD1* rs36232792 polymorphism has no significant effect on plasma SOD levels or the risk of methamphetamine use among Turkish individuals. Although genotype-related variations in plasma SOD levels were observed, these differences were not statistically meaningful. These results require further validation in larger and more diverse sample groups to better understand the potential role of oxidative stress in addiction.

REFERENCES

Borgstahl, G. E., Oberley-Deegan, R. E. Superoxide dismutases (SODs) and SOD mimetics, Journal, 7, 2018.

Cantemir, A., Alexa, A. I., Ciobica, A., Balmus, I. M., Antioch, I., Stoica, B., Chiselita, D., Costin, D. Evaluation of antioxidant enzymes in keratoconus, Rev Chim, 67(8), 2016.

Ciccarone, D. Stimulant abuse: pharmacology, cocaine, methamphetamine, treatment, attempts at pharmacotherapy, Primary care, 38(1), 2011.

Courtney, K. E., Ray, L. A. Methamphetamine: an update on epidemiology, pharmacology, clinical phenomenology, and treatment literature, Drug and alcohol dependence, 143, 2014.

Ighodaro, O., Akinloye, O. First line defence antioxidants-superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT) and glutathione peroxidase (GPX): Their fundamental role in the entire antioxidant defence grid, Alexandria journal of medicine, 54(4), 2018.

Islam, M. N., Rauf, A., Fahad, F. I., Emran, T. B., Mitra, S., Olatunde, A., Shariati, M. A., Rebezov, M., Rengasamy, K. R., Mubarak, M. S. Superoxide dismutase: an updated review on its health benefits and industrial applications, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 62(26), 2022.

Küçükparmaksız, S., Akyüzlü, D. K., Kotiloğlu, S. Ö., Danışman, M. Association of SOD1 rs36232792 with opioid use disorder and a novel PCR-RFLP method for SOD2 rs5746136, Pharmacogenomics, 26(3-4), 2025.

Levran, O., Yuferov, V., Kreek, M. J. The genetics of the opioid system and specific drug addictions, Human genetics, 131, 2012.

Limanaqi, F., Gambardella, S., Biagioni, F., Busceti, C. L., Fornai, F. Epigenetic effects induced by methamphetamine and methamphetamine-dependent oxidative stress, Oxidative medicine and cellular longevity, 2018, 2018.

Milani, P., Gagliardi, S., Bongioanni, P., Grieco, G., Dezza, M., Bianchi, M., Cova, E., Ceroni, M., Cereda, C. Effect of the 50 bp deletion polymorphism in the SOD1 promoter on SOD1 mRNA levels in Italian ALS patients, Journal of the neurological sciences, 313(1-2), 2012.

Parent, R. A. Comparative biology of the normal lung, Academic Press, 2015.

Ramli, F. F., Rejeki, P. S., Abdullayeva, G., Halim, S. A Mechanistic Review on Toxicity Effects of Methamphetamine, International Journal of Medical Sciences, 22(3), 2025.

Saify, K., Saadat, M. Influence of a 50bp Ins/Del polymorphism at promoter of the superoxide dismutase-1 on gene expression and risk of heroin dependency, Environmental Health and Preventive Medicine, 22, 2017.

Saify, K., Saadat, M. Association Between a 50bp Ins/Del Genetic Variation at Promoter of the Superoxide Dismutase-1 (SOD1) and the Risk of Dependency to Opium and Methamphetamine, Acta Medica Iranica, 2018.

Schatzman, S. S., Peterson, R. L., Teka, M., He, B., Cabelli, D. E., Cormack, B. P., Culotta, V. C. Copper-only superoxide dismutase enzymes and iron starvation stress in Candida fungal pathogens, Journal of Biological Chemistry, 295(2), 2020.

Tam, C.-L., Foo, Y.-C. Contributory factors of drug abuse and the accessibility of drugs, International Journal of Collaborative Research on Internal Medicine & Public Health, 4(9), 2012.

Tamayo, D., Muñoz, J. F., Lopez, Á., Urán, M., Herrera, J., Borges, C. L., Restrepo, Á., Soares, C. M., Taborda, C. P., Almeida, A. J. Identification and Analysis of the Role of Superoxide Dismutases Isoforms in the Pathogenesis of Paracoccidioides spp., PLoS Neglected Tropical Diseases, 10(3), 2016.

Whitesell, M., Bachand, A., Peel, J., Brown, M. Familial, social, and individual factors contributing to risk for adolescent substance use, Journal of Addiction, 2013(1), 579310.

Zelko, I. N., Mariani, T. J., Folz, R. J. Superoxide dismutase multigene family: a comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3) gene structures, evolution, and expression, Free Radical Biology and Medicine, 33(3), 337-349, 2002.

DAVRANIŞSAL BAĞIMLILIKLA MÜCADELEDE KANITA DAYALI PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİ MÜDAHALELERİ

EVIDENCE-BASED PSYCHIATRIC NURSING INTERVENTIONS TO COMBAT BEHAVIORAL ADDICTION

Nihal YILDIRIM

Yüksek Lisans Öğrencisi, Selçuk Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Hemşirelik Anabilim Dalı
Master's Student, Selçuk University, Institute of Health Sciences, Department of Nursing
Yildirimnihal518@gmail.com, 05525254124
ORCID ID:0009-0003-5411-6578

Arzu KOÇAK UYAROĞLU

Doç. Dr. Öğr. Üyesi, Selçuk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, Psikiyatri Hemşireliği Anabilim Dalı
Assoc. Prof. Dr. Lecturer, Selçuk University, Faculty of Nursing, Department of Psychiatric Nursing
asukocak51@gmail.com, 05071545189
ORCID ID: 0000-0002-6581-4617

ÖZET

Bağımlılık; kişinin kullandığı alkol, madde ve/veya davranış üzerindeki kontrolünü kaybetmesi olarak tanımlanabilmektedir. Davranışsal bağımlılık ise bireyin yaşamında olumsuz sonuçlar oluşturmasına karşın bağımlılık geliştirdiği davranışı gerçekleştirmeye yönelik kontrol edilemez bir şekilde istek duyması ve tekrar eden, haz almasını sağlayan davranışı göstermesi şeklinde tanımlanmaktadır. DSM-5'te davranışsal bozukluk tanı grubunda sadece kumar oynama bozukluğu ve oyun oynama bozukluğu yer almakla birlikte teknoloji bağımlılığı, yeme bağımlılığı, alışveriş bağımlılığı gibi farklı tekrar eden ve karşı koyulamaz şekilde yerine getirilen davranışsal aktivitelerin de literatürde bağımlılık kavramı kapsamında değerlendirildiği görülmektedir. Diğer bağımlılık türlerinde olduğu gibi davranışsal bağımlılıklarla mücadelede de psikiyatri hemşirelerine önemli rol ve sorumluluklar düşmektedir. Psikiyatri hemşiresi bağımlı bireyi bütüncül açıdan değerlendirmeli ve gerekli hemşirelik tanılarını belirleyerek uygulamalıdır ve tüm bunların yanı sıra psikososyal müdahalelerle, uzmanlığı doğrultusunda hastayı destekleyebilir. Ayrıca her türlü bağımlılığı önleme ve toplumsal farkındalık noktasında, eğitici ve danışman rolleri kapsamında sorumlulukları bulunmaktadır. Bu bağlamda derlemede davranışsal bağımlılıklarla mücadelede kullanılan kanıta dayalı psikiyatri hemşireliği müdahalelerine güncel kaynaklarla dikkat çekmek amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bağımlılık, Davranışsal Bağımlılık, Psikiyatri Hemşireliği

ABSTRACT

Addiction can be defined as the loss of control over the alcohol, substance and/or behavior that a person uses. Behavioral addiction, on the other hand, is defined as an uncontrollable desire to perform the behavior that the individual develops an addiction to, despite the negative

consequences in the individual's life, and to show the behavior that provides pleasure. Although only gambling disorder and gaming disorder are included in the behavioral disorder diagnosis group in DSM-5, it is seen that different repetitive and irresistible behavioral activities such as technology addiction, eating addiction, shopping addiction are also evaluated within the scope of addiction concept in the literature. As with other types of addiction, psychiatric nurses have important roles and responsibilities in the fight against behavioral addictions. Psychiatric nurses should evaluate the addicted individual holistically and determine and apply the necessary nursing diagnoses, and in addition to all these, they can support the patient with psychosocial interventions in line with their expertise. In addition, they have responsibilities within the scope of educator and counselor roles in the prevention of all kinds of addiction and social awareness. In this context, this review aims to draw attention to evidence-based psychiatric nursing interventions used in the fight against behavioral addictions with current resources.

Keywords: Addiction, Behavioral Addiction, Psychiatric Nursing

GİRİŞ

Bağımlılık, bireyin kullandığı madde veya herhangi bir davranış üzerindeki kontrolünü kaybetmesi olarak tanımlanmaktadır (Ertunç 2019). Benzer şekilde, Yılmaz (2019) maddenin ya da davranışın olumsuz etkileri bilinmesine rağmen bırakılamaması aksine kullanımının arttırılarak devam ettirilmesini bağımlılık olarak tanımlamaktadır. Bu iki tanımlama bağlamında bazı davranışlarında bağımlılığa dönüşebileceğini söylemek mümkündür. Madde dışı davranışsal bağımlılıklar başlığı ilk kez Amerikan Psikiyatri Birliği'nin (APA) Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve Sayımsal Sınıflandırmasında (DSM-5) tanımlanmıştır. Davranışsal bağımlılık; bir davranışın tekrarlayan aralıklarla gerçekleşmesi ve bireyin fiziksel, ruhsal ve sosyal problemler yaşamasına yol açması olarak tanımlanmaktadır (APA 2013, Beziroğlu 2018). DSM-5'te tanımlanan davranışsal bağımlılık türü kumar oynama ve oyun oynama bozukluğu kapsamında ele alınırken literatürde teknoloji bağımlılığı, yeme bağımlılığı, alışveriş bağımlılığı gibi türlerin de olduğu görülmektedir (APA 2013, Özcan ve ark 2020, Zubaroğlu Yanardağ ve ark 2020). Sözü edilen davranışsal bağımlılıklar adına yapılan çalışmalarda ülkemizde kumar bağımlılığının yaygınlığı %3, teknoloji bağımlılığının %14,4, yeme bağımlılığının %21,7-35,10 arasında olduğu bulunmuştur (Özcan 2019, Dağlı ve Yüyen 2023). Bu çalışmanın amacı davranışsal bağımlılıklara yönelik kanıta dayalı psikiyatri hemşireliği müdahalelerine güncel kaynaklarla dikkat çekmektir.

1.BAĞIMLILIK

Bağımlılık; kişinin kullandığı madde, alkol, nesne veya yaptığı bir davranış üzerinde kontrolünü kaybetmesidir (Yeşilay 2017). İnsanlar hayatta birçok şeye karşı (madde, alkol, sigara, kumar, teknoloji, herhangi bir eşya veya davranış) bağımlılık geliştirebilirler. Bireyin kontrolsüzce kullandığı her bir madde ya da gerçekleştirdiği her bir davranış bağımlılık oluşturma açısından risk taşımaktadır. Kişi söz konusu madde ya da davranış sıklığını azalttığında veya kestiğinde huzursuzluk, uykusuzluk, öfke gibi yoksunluk belirtileri gösterebilmektedir (Ögel 2017, Yeşilay 2017). Dünya Sağlık Örgütünün Uluslararası Hastalıkların Sınıflandırılması El Kitabı'nın on

birinci revizyonunda (ICD-11) madde kullanımına ve bağımlılık davranışlarına bağlı bozukluklar, ağırlıklı olarak psikoaktif maddelerin kullanımı veya belirli tekrarlayan ödüllendirici ve pekiştirici davranışların bir sonucu olarak gelişen zihinsel ve davranışsal bozukluklar olarak tanımlanmaktadır. Bağımlılık yapan davranışlara bağlı bozukluklar ise bağımlılık yapıcı maddelerin kullanımı dışında kalan yineleyici ve ödüllendirici davranışların bir sonucu olarak gelişmektedir (WHO 2021). Amerikan Psikiyatri Birliğinin (APA) Ruhsal Bozuklukların Tanısal ve Sayımsal El Kitabının 5. Baskısında (DSM-5) yer alan bağımlılık kriterleri şunlardır:

1. Tasarladığından daha uzun süreli kullanım
2. Geçmişte başarısız bırakma girişimleri
3. Zamanının çoğunu madde bulmak ve kullanmak için ayırma
4. Hem olumsuz etkilerini tecrübe edip hem de zarar görmesine rağmen kullanmaya devam etme
5. Madde kullanım isteği
6. Tolerans (kullanılan madde miktarının yeterli gelmemesi sebebiyle giderek artırılması)
7. Yoksunluk (APA 2013).

Amerikan Psikiyatri Derneğine göre insanların kimyasal veya davranışsal bağımlılıklar geliştirmesinde iyi hissetme, daha iyi performans sergileme arzusu etkili olmaktadır. Kimyasal bağımlılıklar genellikle bireyin kendi arzusu ile maddeyi kullanmaya karar vermesi sonucunda başlamaktadır. Elbette kişi bağımlı olma arzusuyla madde kullanmaya başlamaz fakat maddeyi yineleyici biçimde kullandıkça madde kullanımı üzerindeki kontrolünü kaybetmektedir. Günlük yaşam işlevlerinde bozulma olduğunu fark etmesine rağmen kişi kendini madde kullanmaktan alıkoyamaz ve böylece madde kullanımı, gönüllü kullanımdan zorunlu kullanıma doğru evrilmiş olur (APA 2021). Bağımlılık yalnızca bir maddenin kontrolsüz kullanımı değildir, aynı zamanda bir ya da daha fazla eylemin kontrolsüzce tekrarlanması da bağımlılık kapsamında ele alınmakta ve bu tür bağımlılıklara davranışsal bağımlılık denilmektedir.

2.DAVRANIŞSAL BAĞIMLILIK

Madde ile ilişkili olmayan davranışsal bağımlılık, bireyin yaşamında olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmasına karşın bağımlılık geliştirdiği davranışı gerçekleştirmeye yönelik kontrol edilemez bir şekilde istek duyması ve tekrar eden, haz almasını sağlayan davranışı göstermesidir (Black 2013). Davranışsal bağımlılıklarda kişilerin haz aldığı davranışlar zaman içerisinde davranışa karşı gelişen toleransla birlikte artış gösterebilmektedir. Temelinde yineleyici eylemler olan davranışsal bağımlılık; kişinin gerçek hayattaki problemlerinden uzaklaşma isteği ve kişiye haz veren davranışın ona kendisini iyi hissettirmesi gibi nedenler sonucunda oluşabilmekte ve kişi zamanla bu eylemleri tekrar ettikçe tolerans, davranışı kontrol edememe, davranışın engellenmesi halinde rahatsızlık hissi gibi yoksunluk belirtileri gösterebilmektedir (Noyan ve ark 2015).

DSM-5, madde ile ilişkili bozuklukları 10 farklı kümede içermektedir ve buna ek olarak ilk kez 'Maddeyle İlişkili Olmayan Bozukluklar' tanı grubunu da içermektedir. DSM-5'te davranışsal bozukluk olarak sadece kumar oynama bozukluğu ve oyun oynama bozukluğu tanı grubunda yer almakla birlikte teknoloji bağımlılığı, yeme bağımlılığı, alışveriş bağımlılığı gibi farklı tekrar eden ve karşı koyulamaz şekilde yerine getirilen davranışsal aktivitelerin de bağımlılık kavramı kapsamında ele alındığı görülmektedir (APA 2013, Baykan 2014, Aydın 2016, Sanal-Özcan ve ark 2020).

Oyun bağımlılığı kavramı teknolojik ilerlemeye bağlı olarak değişim göstermiştir. Bilgisayar ve internet tabanlı oyunların hayatın önemli bir parçası haline gelmesiyle birlikte oyun bağımlılığı kavramı "online" oyun bağımlılığı olarak revize edilmiştir (Griffiths 2015, Novrialdy ve Atyarizal 2019). Online oyun bağımlılığı, çeşitli şekillerde sınıflandırılan ve açıklanan davranışsal bir sorundur. Online oyun bağımlılığı bir oyuncunun çevrimiçi bir oyuna karşı koyulamaz bir şekilde bağımlı olduğu ve çevrimiçi oyunu uzun bir süre boyunca aşırı kullandığı veya oyuna tekrar tekrar katıldığı ve bireylerin fiziksel, psikolojik ve sosyal işlevlerinin bozulmasına neden olan bir davranış bozukluğu olarak tanımlanmaktadır (Kiatsakaret ve Chen 2022).

Kumar oynama bozukluğu ise kişinin bireysel ve mesleki işlevselliğini bozacak bunun yanında ailevi sorunlar yaratacak şekilde davranışlarını kontrol edememesi olarak tanımlanmaktadır (Daşpınar 2024). Kumar bağımlılığı kontrol edilemeyen, kalıcı ve tekrar eden bir bağımlılıktır. Kumar oynama bozukluğu ilk olarak 1980 yılında DSM-3'te psikiyatri sınıflandırmasında "Patolojik Kumar Oynama" (PKO) olarak tanımlanmıştır. 1994 yılında ise DSM-4'te PKO "Başka yerde sınıflandırılmamış dürtü kontrol bozuklukları" sınıfında değerlendirilmiş ve bağımlılık sınıfında gösterilmemiştir. Son yayınlanan DSM-5 sınıflandırılmasında PKO, bağımlılıklar kategorisine alınmıştır (APA 2013, Daşpınar 2024). Kumar oynamanın, bağımlılık sınıfına girmesine neden olarak da tıpkı madde bağımlılığında olduğu gibi bilişsel, nörolojik, genetik ve davranışsal bozukluklara yol açması gösterilmiştir (Daşpınar 2024). Sözü edilen davranışsal bağımlılıkla mücadelede psikiyatri hemşireliği müdahalelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

3. DAVRANIŞSAL BAĞIMLILIKLA MÜCADELEDE KANITA DAYALI PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİ MÜDAHALELERİ

Diğer bağımlılık türlerinde olduğu gibi davranışsal bağımlılıklarla mücadelede de psikiyatri hemşirelerine önemli rol ve sorumluluklar düşmektedir. Hemşirenin davranışsal bağımlılığı olan bireye yaklaşımındaki amacı, hastanın inkâr mekanizmasının devre dışı bırakılması, sorunlarıyla yüzleştirilmesi, utancın azaltılması, bağımlılık kavramlarının öğretilmesi üzerine olmalıdır. Önemli olan bireyde farkındalık sağlayarak iç görü oluşturmaktır (Kayalıoğlu 2020, Dağlı ve Yüyen 2023). Bireylerin bağımlılık nedenlerini sorgulamak da bir diğer önemli aşamadır. Bağımlılığın nedenlerini bilmek aynı zamanda bireyin etkisiz baş etme yöntemlerini öğrenmek olacağı için de önem arz etmektedir. Davranışsal bağımlılığı olan bireylerde düşük benlik saygısı, çatışma ile güçlük, dürtüsellik ve heyecan arayışı, strese tahammülsüzlük gibi bağımlılığa zemin hazırlayan etmenler vardır. Bunlara yönelik olarak hastanın benlik saygısını yükseltecek girişimler planlanmalı ve uygulanmalıdır. Bu aşamada, bireyin güçlü yönleri vurgulanmalı, hastalığının

sorumluluğunu alması için destek olunmalıdır. Hemşire davranışsal bağımlılığı olan bir bireyle çalışırken öncelikli olarak davranışsal bağımlılığın türüne göre hemşirelik tanıları belirlemelidir (Çakmak ve Tamam 2018). Psikiyatri hemşiresi bağımlı bireyi bütüncül açıdan değerlendirmeli ve gerekli hemşirelik tanılarını belirleyerek uygulamalıdır ve tüm bunların yanı sıra psikososyal müdahalelerle, uzmanlığı doğrultusunda hastayı desteklemelidir (Kayalıoğlu 2020, Dağlı ve Yüyen 2023).

3.1.Psikoterapiler

3.1.1.Bağımlılıkta bilişsel davranışçı terapi

Bilişsel davranışçı terapi, 1970'li yıllarda Beck ve Ellis öncülüğünde ortaya çıkan bir psikoterapi kuramıdır ve kişinin düşüncelerinin, duygu ve davranışlarını şekillendirdiği görüşü üzerine temellenmektedir (Davison ve Neale 2011). Bu nedenle terapi sürecinde duygu ve davranışlar ile düşünceler arasındaki ilişkilerin tespit edilmesi ve bireyin yaşantısını daha gerçekçi yorumlaması amaçlanır (Türkçapar 2012). Bağımlılıkla mücadele kapsamında BDT'nin kullanım amacı bireylerin zararlı maddelerle ilgili gerçekci inançlara sahip olması ve maddelerin zararlarını fark ederek hatalı düşüncelerini değiştirmeleridir (Şengezer 2016). Aynı zamanda BDT, tedavi sürecinde ve sonrasında kumarla ilgili değişkenlerin takibi ve iyileşme süreci ile ilgili randomize, kontrollü çalışmaların bulunması, meta analizlerinin yapılmış olması sebebiyle psikoterapötik yaklaşımlar arasında güçlü bir kanıt tabanına sahiptir. BDT yaklaşımlarında değişiklikler olsa da birkaç randomize kontrollü çalışmada kumar oynama belirti şiddetini, mali kayıpları ve kumar oynama sıklığını azalttığı gösterilmiştir (Çakmak ve Tamam 2018).

3.1.2.Bağımlılıkta motivasyonel görüşme

Motivasyonel görüşme, özellikle değişim için isteksiz ya da kararsız olan danışanların sorunlarını ortaya çıkarma ve üstesinden gelmelerine yardım ederek davranış değişimi sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Motivasyonel görüşme özellikle madde kullanımı ve bağımlılık alanında son yıllarda giderek önem kazanan bir yöntemdir. Bu yöntem madde kullanımında kişiye bıraktırmaya yönelik yöntemlerin etkisinin yetersiz olmasıyla daha da önem kazanmıştır (Özcan ve Çelik 2021). Motivasyonel Görüşmenin Tekniğinin etkileyici yanları ise kısa süreli olması ve kişide bırakma yönünde kalıcı etkiler yapmasıdır (Miller ve Rollnick 2009). Motivasyonel Görüşme iki ana evreden oluşmaktadır. Birinci evrede amaç bireye değişim için içsel motivasyonun kazandırılmasıdır. Değişimi sağlayacak stratejilerin belirlenmesi sebeplerden daha önemlidir. Asıl önemli amaç ise, bireyin ambivalanslarını çözerek değişim motivasyonunu sağlamaktır. İkinci evre ise değişim için güçlü bir bağlılık sağlanması ve bunu başarmaya yönelik bir değişim planını içermesidir. Başka bir deyişle ikinci evrede de danışanın odağı değiştirmek için istediği ve yapmayı planladığı şeyler önemlidir. Değişim konuşmaları sonucunda amaç belirlenmeli, birinci evreden ikinci evreye geçilmeli ve sonrasında değişimin sürekli hale gelmesinin nasıl sağlanacağı planlanmalıdır (Dicle 2012, Özcan ve Çelik 2021).

3.1.3.Bağımlılıkta Psikodinamik Terapi

Psikodinamik terapinin temeli, Sigmund Freud'un psikanalizi kurmasına dayanmaktadır. 'Psikodinamik' terimi, hasta ve terapist arasındaki etkileşim sürecini ifade etmek için kullanılan bir kavramdır. Terapinin amacı, hem hastayı mevcut belirtilerden hem de kişilerarası ilişkilerde yaşamış olduğu problemlere yol açan nevrotik çatışmalardan kurtarmaktır. (Ardern 2014). Psikodinamik terapi, Sigmund Freud'un ego psikolojisi olarak bilinen klasik yaklaşımı temelinde ilişkisel, kişilerarası ve kendilik psikolojisi gibi güncel kuramları da kapsayan şemsiye bir terimdir (Mitchell 1988, Yıldız ve Tamam 2025). Terapi, terapist ve hasta arasındaki aktarım ilişkisine odaklanmıştır. Psikodinamik terapi, bireylerin kendileri, bilinçaltı arzuları, motivasyonları ve çatışmaları hakkında daha derin bir farkındalığa ulaşmalarını sağlamaktadır. Sağlanan bu farkındalıkla birey, kendine yardımcı olmayan ve zarar veren kalıpları tekrarlamama seçeneğini elde etmiş olmaktadır (Verma ve Vijayakrishnan 2018).

Psikodinamik terapinin bağımlılık ile ilgili bozukluklara bakış açısı ise bağımlılığın bir öz düzenleme bozukluğu olduğu yönündedir. Bireyin yaşantısıyla ilgili acı ve ıstıraplarını hafifletme isteği, ne yazık ki onu bağımlılık yapan maddeleri kullanmaya itmektedir (Kantzian 2015). Psikodinamik terapi, terapötik ilişki yoluyla bağımlı bireyin benliğini keşfetmesini ve geliştirmesini amaçlamaktadır. Tedavide koşulsuz kabul, empati, nezaket ve dürüstlük önem arz etmektedir. Terapide, bağımlılığa yol açan öz düzenleme eksiklikleri giderilmekte, sahte benlik kavramı gerçek benliğe dönüştürülmekte ve kişiyi etkileyen derin psikolojik yaraların iyileşmesi için fırsatlar sağlanmaktadır (Baurer 2021).

3.1.4.Bağımlılıkta Kabul ve Kararlılık Terapisi

Kabul ve Kararlılık Terapisi, Steven Hayes tarafından geliştirilmiştir. Kabul ve kararlılık terapisi, psikopatolojilerin kökeninde yer alan asıl nedenin, bireyin ruhsal acıdan yoğun bir biçimde kaçınması ve bu acıları kontrol etmesi olduğunu iddia etmektedir. Birey acıdan kaçınırken veya acıyı kontrol etmeye çalışırken içinde bulunduğu andan ve dış gerçeklikten uzaklaşmaktadır. Bu durum bireyin uyumsuz davranışlar sergilemesine neden olmaktadır (Yektaş 2020). Kabul ve kararlılık terapisi, düşünce ve duyguların kabul edilmesi, kişinin değerlerine bağlı bir eylem seçmesi ve son olarak harekete geçmesini içeren üç adımı ele alır. Bu terapi yaklaşımında, bireyin itici bulduğu duygular ve düşünceler olduğu gibi kabul edilmektedir. Birey kendini rahatsız eden duygu ve düşüncelerle mücadele etmek yerine bu duygu ve düşüncelerin kendi yaşamı üzerindeki etkisini azaltmaya çalışması gerekmektedir. Terapi, özünde yaşamın sadece mutlu anlardan ibaret olmadığı, yaşamın içerisinde hayal kırıklıklarının, kişilerarası çatışmaların, başarısızlıkların ve hüzünlerin de olabileceğinin kabul edilmesine dayanmaktadır. Terapi sürecinde danışanın ruhsal belirtilerini azaltılmaya çalışmak yerine anlamlı ve değerli davranışlar gerçekleştirmesi cesaretlendirilmektedir. Terapide danışanların psikolojik esneklik düzeyleri artırılmaya çalışılır. Bireyin esnek olabilmesindeki amaç, olumsuz deneyimlere de hazır olabilmesini sağlamaktır. Terapi sürecinde altı aşama önem arz etmektedir. Bu aşamalar; anda olmak, değerler, harekete geçme, kendindelik, ayrışma ve kabuldür (Uğur 2018, Yıldız ve Tamam 2025).

Kabul ve kararlılık terapisinin bağımlılık ile ilgili bozukluklara bakış açısı, bağımlı bireylerin acıdan kaçınmak için girdikleri sürecin, bağımlılıkla sonuçlanması ve bilişsel esnekliklerindeki zayıflıklar sonucunda değişim için harekete geçememeleridir. Bağımlılık sürecinde birey acıdan kaçınmak, hayal kırıklıklarının yol açtığı sıkıntıdan kurtulmak, arkadaş ortamına giremeyeceği yönündeki düşüncelerini gidermek, mesleki ve ekonomik anlamda edindiği acı tecrübelerinden vs. birçok problemden dolayı bir maddeye veya bir davranışa başvurabilmektedir. Bağımlı bireyler şimdi ve buradaya odaklanamadıkları ve madde alımları için hep bir sebep buldukları için terapide amaç bireyi içinde yaşanılan ana getirmeye çalışmaktır. Bireyde değerler oluşturulmakta ve bireyin maddeyi kullanmayı kendi değer yargılarına zıt görebilmesi ve bırakmak için harekete geçecek motivasyonu kendisinde bulabilmesi sağlanmaktadır (Yıldız ve Tamam 2025).

3.1.5.Bağımlılıkta Çözüm Odaklı Terapi

Çözüm odaklı terapi, 1980'li yıllarda De Shazer ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Terapide bireyin kendi gücü temel alınmış ve terapistle hasta arasındaki işbirliği üzerine temellendirilmiştir. Bu terapi yaklaşımında bireydeki mevcut probleme odaklanmak yerine danışanın amacına dönük çözümler ortaya koymak amaçlanmaktadır. Terapinin özünü sorular oluşturmaktadır. Derecelendirme soruları ile danışanın içerisinde bulunduğu sıkıntılı durumu 1-10 arası derecelendirmesi istenmektedir. Aynı zamanda istisna sorularda, problemin olmadığı anlarda danışanın yaşantısı sorgulanmaktadır. Baş etme soruları tekniğinde ise danışanın çözemediği değil de çözebildiği sorunlar üzerine konuşularak danışana cesaret verilmektedir (Arslan 2018).

Çözüm odaklı terapinin bağımlılık ile ilgili bozukluklara bakış açısında bireyin çözüm için cesaretlendirmesi, öz gücünün farkına varabilmesi ve içinde olduğu zararlı düşünce biçiminden sıyrılarak daha işlevsel düşünmeye sevk edilebilmesi becerileri yer almaktadır. Amaç, bireyin herhangi bir konuda bir sorunun çözümünü yaşaması ve bu beceriyi bağımlılıkla ilgili problemlerinin çözümünde de kullanmasıdır. Bağımlılığın yarattığı kısır döngü içerisinde yaşadığı stres, gerginlik, huzursuzluk veya problemli davranışı bırakma girişimlerinde yaşadığı hayal kırıklığı sonucunda tamamen umutsuzluğa ve çaresizliğe girmiş danışana farklı bir çözümün de olabileceği öğretilmektedir (Ögel 2021).

4.DAVRANIŞSAL BAĞIMLILIKLA MÜCADELEDE KANITA DAYALI PSİKİYATRİ HEMŞİRELİĞİ MÜDAHALELERİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Davranışsal bağımlılıklarda kullanılan psikiyatri hemşireliği müdahaleleriyle ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır; Ede ve arkadaşları (2020), 18-30 yaş aralığında 40 kişiye kumar bağımlılığı için 8 oturumluk bilişsel davranışçı terapi uygulamıştır. Araştırma sonucuna göre, müdahalenin kumar oynama semptomlarında anlamlı ve kalıcı bir düşüşe yol açtığı bulunmuştur. Abbott ve arkadaşları (2017), 10 oturum olacak şekilde bilişsel davranışçı terapi ve motivasyonel görüşmenin kumar bağımlılığı üzerindeki etkisini belirlemek için araştırmaya katılan 300 kişi üzerinde test etmişlerdir. Araştırma bulgularına göre müdahalelerin, kumar oynayarak geçirilen zaman ve harcanan para miktarı gibi değişkenler açısından pozitif yönde ilerleme sağladığı bildirilmiştir. Mooney ve arkadaşlarının (2019) yapmış olduğu çalışmada,

kumar oynama bozukluğunun tedavisi için bilişsel davranışçı terapiye yanıt vermeyen 72 hastaya psikodinamik terapi uygulanmıştır. Terapi sonucunda, depresyonda, anksiyetede ve kumar oynama şiddetinde anlamlı bir azalma olduğu ortaya koyulmuştur.

Agbaria (2022) İsrail'de Arap ergenlerin internet bağımlılık düzeylerinin azaltılması ve öz kontrolün artırılması amacıyla bilişsel davranışçı terapi temelli bir müdahale programı geliştirmiştir. Araştırmacı tarafından geliştirilen anket 1243 kişiye uygulanarak bağımlılık düzeyinin yüksek olduğu tespit edilen 160 ergen deney ve kontrol grubuna eşit biçimde dağıtılmıştır. 10'ar kişilik deney grubu ile 16 terapist tarafından haftada bir sekiz seanstan oluşan program uygulanmıştır. İnternet kullanımının ön uyarıcıları, tetikleyiciler, bağımlılığın pekiştireçleri, düşüncelerin davranışlar üzerindeki etkileri, dikkat dağıtıcılar, iç uyaranlar, öz denetim becerileri, sosyal becerilerin geliştirilmesi, stres yönetimi, gevşeme egzersizleri ve baş etme yöntemlerine yönelik uygulamalara yer verilmiştir. Çalışma sonucunda deney grubunda yer alan ergenlerin kontrol grubunda yer alan öğrencilere göre öz denetim becerilerinin arttığı, internet bağımlılığının ise düştüğü gözlemlenmiştir. Afriwilda ve Mulawarman (2021), 14-17 yaş arası 32 öğrenciden 16'sının oyun bağımlılığı için katıldığı motivasyonel görüşmenin etkisini test etmiştir. Araştırma bulgularına göre, kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, müdahaleye katılanların psikolojik iyi oluş düzeylerinde anlamlı bir gelişme olduğu bildirilmiştir. Juhyun ve Kyung-Sook (2021), 52 üniversite öğrencisinin 27'sine telefon bağımlılığı için sunulan 12 oturumluk oyun ve sanat aktiviteleri temelli akran ilişkileri geliştirme programının etkisini ele almıştır. Araştırma bulgularına göre; müdahalenin akran ilişkilerini geliştirdiği, depresyon ve telefon bağımlılığı düzeylerini düşürdüğü rapor edilmiştir. Canoğulları-Ayazseven (2019) tarafından lise öğrencileri ile yürütülen çalışma kapsamında Genelleştirilmiş Problemli İnternet Kullanım Ölçeği 2 kullanılarak katılımcı seçimi yapılmış ve öğrencilere 10 oturum süren bir psikoeğitim programı uygulanırken bu öğrencilerin gönüllü ebeveynleri ile bir oturumluk bilgilendirme oturumu yapılmıştır. Süreç tasarımında deney grupları: sadece ergenin oturuma katıldığı grup, sadece ailenin bilgilendirildiği grup hem ergenin oturuma katıldığı hem de ailenin bilgilendirildiği grup şeklinde oluşturulurken, kontrol grubu gerek ergen gerekse ailenin herhangi bir çalışmaya dahil olmadığı bir grup olarak tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda deney gruplarında yer alan grupların kontrol grubuna göre deney grubu lehine anlamlı farklılıkların kazanıldığı görülmüştür. Ayrıca çalışma kapsamında oturumlara yönelik aile görüşleri alınmış ve programın aileler açısından olumlu değişimler sağladığı, benzer gruplarda ailenin dahil edilmesinin sürecin etkililiğine katkıda bulunacağı sonucuna da ulaşılmıştır.

Aksoy ve Ünübol'un (2021) ergenlerde yaptığı çalışmasında, internet bağımlılığı ile erken dönem uyumsuz şemalardan kusurluluk, yetersiz özdenetim ve boyun eğicilik şemaları arasında anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Safari ve arkadaşlarının (2021) lisede eğitim gören 30 kız öğrenciyle yürüttükleri çalışmada, Gerçeklik terapisinin internet bağımlılığı üzerindeki etkisi incelenmiştir. 15 öğrencinin deney ve 15 öğrencinin kontrol grubunda yer aldığı çalışmanın sonucunda, terapinin internet bağımlılığını azalttığını tespit edilmiştir. Zhang ve arkadaşlarının (2020) üniversite öğrencilerinde internet bağımlılığıyla ilgili çalışmasında, çözüm odaklı grupla psikolojik danışma

müdahalesinin etkinliği araştırılmıştır. Bu çalışmaya 18 üniversite öğrencisi katılmıştır. 9'u deney grubuna ve 9'u ise kontrol grubuna atanmıştır. Deney grubundaki öğrenciler beş hafta boyunca grupla psikolojik danışma alırken, kontrol grubu herhangi bir müdahale almamıştır. Çalışma sonucunda göre deney grubunun internet bağımlılığı anlamlı bir biçimde azaldığı saptanmıştır. Erden ve Hatun'un (2015) çalışmasında 14 yaşındaki internet bağımlısı bir kız ergenle yapılan bilişsel davranışçı terapi sonucunda danışanın bağımlılık düzeyinin azaldığı, interneti daha sağlıklı kullanmaya başladığı ve danışanın hem okul başarısında hem de sosyal yaşamında olumlu anlamda ilerlemeler kaydettiği tespit edilmiştir. Yapılan tüm bu çalışmalar davranışsal bağımlılıklarla mücadelede psikiyatri hemşireliği müdahalelerinin etkinliğini ortaya koymaktadır.

5. SONUÇ

Bağımlılık yalnızca bir maddenin kontrolsüz kullanımı değildir aynı zamanda bir ya da daha fazla eylemin kontrolsüzce tekrarlanması da bağımlılık kapsamında ele alınmakta ve bu tür bağımlılıklara davranışsal bağımlılık denilmektedir. DSM-5'te davranışsal bozukluk olarak sadece kumar oynama bozukluğu ve oyun oynama bozukluğu tanı grubunda yer almakla birlikte teknoloji bağımlılığı, yeme bağımlılığı, alışveriş bağımlılığı gibi farklı tekrar eden ve karşı koyulamaz şekilde yerine getirilen davranışsal aktivitelerin de bağımlılık kavramı kapsamında ele alındığı görülmektedir. Diğer bağımlılık türlerinde olduğu gibi davranışsal bağımlılıklarla mücadelede de psikiyatri hemşiresine önemli rol ve sorumluluklar düşmektedir. Psikiyatri hemşiresinin davranışsal bağımlılığı olan bireye yaklaşımındaki amacı, hastanın inkâr mekanizmasını kullanmaması, sorunlarıyla yüzleştirilmesi, utancın azaltılması, bağımlılık kavramlarının öğretilmesi üzerine olmalıdır. Önemli olan bireyde farkındalık sağlayarak iç görü oluşturmaktır. İnkâr mekanizmasını kullanmamak için, hemşire bağımlılık kavramını, etkilerini ve sonuçlarını bağımlı birey ile paylaşmalıdır. Psikiyatri hemşiresi bağımlı bireyi bütüncül açıdan değerlendirmeli ve gerekli hemşirelik tanılarını belirleyerek uygulamalıdır ve tüm bunların yanı sıra psikososyal müdahalelerle, uzmanlığı doğrultusunda hastayı desteklemelidir. Sağlık meslek mensuplarının dışında diğer meslek profesyonellerine de büyük sorumluluklar düşmektedir. Özellikle öğretmenler genç yaştaki öğrencilerde ortaya çıkabilecek davranışsal bağımlılığın fark edilmesi ve öğrencilerin yönlendirilmesi konusunda önemli sorumluluğa sahipken yasa yapıcıların ve uygulayıcıların özellikle online kumar gibi konularda yasal eksiklikleri fark ederek buradaki kanun boşluklarını tamamlamaları büyük önem arz etmektedir.

6.KAYNAKLAR

Abbott, M., Bellringer, M., Vandal, A.C., Hodgins, D.C., Battersby, M., Rodda, S.N, *Effectiveness of problem gambling interventions in a service setting*: A protocol for a pragmatic randomised controlled trial. BMJ Open, 7(3), 1–10, 2017.

Afriwilda, M.T., Mulawarman, M., *The effectiveness of motivational interviewing counseling to improve psychological well-being on students with online game addiction tendency*. Islamic Guidance and Counseling Journal, 4(1), 106–115,2021.

Agbaria, Q., *Cognitive behavioral intervention in dealing with internet addiction among arab teenagers in Israel*. In ternational Journal of Mental Health and Addiction, 1-15,2022.

Aksoy, F., Ünübol, H., *Ergenlerde internet bağımlılığı ile şema mekanizmaları arasındaki ilişki*. Bağımlılık Dergisi; 22(2): 103-113,2021.

American Psychiatric Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. American Psychiatric Publishing,2013.

American Psychiatry Association. *What is addition?*: erişim tarihi:04.05.2025 https://www.psychiatry.org/patients-families/addiction/what-is-addiction2021.

Ardern, M., Psychodynamic therapy. In: Hepple J, Pearce J, Wilkinson P. (editors). *Psychological therapies with older people*. London: Psychology Press: 21-44,2014.

Arslan, Ü., Gümüşçağlayan G., *Çözüm odaklı kısa süreli terapiye kısa bir bakış*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi; 47: 491-507,2018.

Aydın, İ.E., *Üniversite öğrencilerinin sosyal medya kullanımları üzerine bir araştırma*: Anadolu Üniversitesi örneği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 35, 373–386,2016.

Baurer, F.M., *Psychodynamic treatment with the addicted person*. Psychodyn Psychiatry; 49(3): 404-424,2021.

Baykan, N., *Anne-Baba tutumları ile internet bağımlılık düzeyi arasındaki ilişkinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Yeditepe Üniversitesi. İstanbul, 2014.

Beziroglu, M., *Kompulsif satın alma, bilişsel duygu düzenleme ve davranışsal inhibisyon, davranışsal aktivasyon sistemleri arasındaki ilişkiler*. Yüksek Lisans Tezi, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Psikoloji Anabilim Dalı, İstanbul, 2018.

Black, D.W., *Behavioural addictions as a way to classify behaviours*. Can J Psychiatry. 58(5): 249- 251,2013.

Canoğulları Ayazseven, Ö., *Ergenlerde problemli internet kullanımını önlemeye yönelik bilişsel-davranışçı temelli psikoeğitim çalışmasının etkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana,2019.

Çakmak, S., Tamam, L., *Kumar oynama bozukluğu: genel bir bakış*. Bağımlılık Dergisi 19 (3): 78-97. 50,2018.

Dağlı, D.A., Yüyen, M.N., *Davranışsal bağımlılık ve hemşirelik yaklaşımı*. Bağımlılık dergisi. 24(1):104-112,2023.

Daşpınar, S., *Yeni medya kapsamında bağımlılık ve gençlerin dijital kumar bağımlılıkları araştırması*. Yüksek lisans tezi. İstanbul aydın üniversitesi lisansüstü eğitim enstitüsü, yeni medya ana bilim dalı. İstanbul,2024.

Davison, G.C., Neale, J.M., *Anormal Psikolojisi* İ. Dağ (Ed.). Türk Psikologlar Derneği Yayınları, Ankara. 234-271. 2011.

Dicle, A.N., *Motivasyonel görüşme uygulamalarinin engelli çocuğa sahip ailelerin başa çıkma tutumlarına etkisi*. doktora tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Eğitim Bilimleri Anabilim Dalı, Rehberlik ve Psikolojik Danışmanlık Bilim Dalı, Samsun. 2012.

Ede, M.O., Omeje, J.C., Ncheke, D.C., Agah, J.J., Chinweuba, N.H., Amoke, C.V., *Assessment of the effectiveness of group cognitive behavioral therapy in reducing pathological gambling*. Journal of Gambling Studies, 36(4), 1325–1339. 2020.

Erden, S., Hatun, O., *İnternet bağımlılığı ile başa çıkmada bilişsel davranışçı yaklaşımın kullanılması*: Bir olgu sunumu. Addicta: The Turkish Journal on Addictions; 2(1): 53-83. 2015.

Ertunç, S., *Alkol ve madde bağımlılığı tedavisi gören bireylerin görüşlerine göre serbest zaman aktivitelerinin alkol ve madde bağımlılığı tedavi sürecindeki rolü*. Yüksek lisans tezi. Ankara Üniversitesi. Ankara. 2019.

Griffiths, M.D., *Online games, addiction and overuse of*. The International Encyclopedia of Digital Communication and Society, 1-6. 2015.

Juhyun, J., Kyung-Sook, B., *The effect of peer relationship enhancement programs on the prevention of smartphone addiction among late school-age children in south korea*. Journal of Pediatric Nursing, 63, 127–135. 2021.

Kayalıoğlu, K., *Çocuk ve ergenlerde madde kullanım bozukluğu ve psikiyatri hemşireliği yaklaşımı*. ICDAH Uluslararası Farklı Boyutlarıyla Sağlık Konferansı Seçme Bildiriler-3. 2020.

Khantzian, E.J., *Psychodynamic Psychotherapy for the Treatment of Substance Use Disorders*. In: el-Guebaly N, Carrà G, Galanter M. (editors). Textbook of Addiction Treatment: International Perspectives. Milano: Springer: 811-819. 2015.

Kiatsakaret, P., Chen, K.Y., *The effect of flow experience on online game addiction during the covıd-19 pandemic: the moderating effect of activity passion*. Sustainability, 14(19). 2022.

Miller, W.R., Rollnick, S., *Motivasyonel Görüşme Tekniği, insanları değişime hazırlar*. Ankara: HYB Basım Yayın. 2009.

Mitchell, S., Relational Concepts in Psychoanalysis An Integration. Cambridge: Harvard University Press. 1988.

Mooney, A., Roberts, A., Bayston, A., Bowden-Jones, H., *The piloting of a brief relational psychodynamic protocol (psychodynamic addiction model) for problem gambling and other compulsive addictions: A retrospective analysis*. Couns Psychother Res; 19(4): 484-496. 2019.

Novrialdy, E., Atyarizal, R., *Online game addiction in adolescent: What should school counselor do?*. Jurnal Konseling dan Pendidikan, 7(3), 97-103. 2019.

Noyan, C.O., Darçın, A.E., Nusredov, S., Yılmaz, O., Dilbaz, N., *Akıllı Telefon Bağımlılığı Ölçeğinin Kısa Formunun üniversite öğrencilerinde Türkçe geçerlilik ve güvenilirlik çalışması*. Anadolu Psikiyatri Dergisi, 16(1), 73- 81. 2015.

Ögel, K., *Sigara, alkol ve madde kullanım bozuklukları: tanı, tedavi ve önleme*. İstanbul: Yeniden Yayınları. 2010.

Ögel, K., *Bağımlılık ve tedavisi temel kitabı*. Yalın Yayıncılık. 2017.

Ögel, K., *Bağımlılık ve Tedavisi Hakkında Her Şey. Bağımlılık Ve Tedavisi Temel Kitabı*, 4. Baskı. İstanbul: IQ Kültür Sanat Yayıncılık. 2021.

Özcan, B., *Pamukkale üniversitesi öğrencilerinde uyku kalitesi ve akıllı telefon bağımlılığı ile ilişkisi*. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi Tıp Fakültesi, Denizli. 2019.

Özcan, K., Balcı-Çelik, S., *Motivasyonel görüşme tekniğine dayalı psiko-eğitim programının lise öğrencilerinin çevrimiçi oyun bağımlılığı düzeylerine etkisi*. Ondokuz mayıs üniversitesi eğitim fakültesi dergisi. 40(1):257-274,2021.

Safari, S., Soleimanian, A.A., Jajarmi, M., *The Effectiveness of" Reality Therapy" training on internet addiction and perceptions of social support-family in teenage girls*. Journal of Health Promotion Management; 10(5): 107 120. 2021.

Sanal-Özcan, Y., Hamzaoğlu, N., Türk, B., *Üniversite öğrencilerinin kimyasal ve davranışsal bağımlılıklara ilişkin bakış açıları ve bilgi düzeyleri*. Bağımlılık Dergisi, 21(1), 44–55. 2020.

Şengezer, T., *Tütün bağımlılığında bilişsel-davranışçı tedavi yöntemleri*. Güncel Göğüs Hastalıkları Serisi; 4(1): 97-103. 2016.

Türkçapar, M.H., Bilişsel Terapi. HYB Yayıncılık, Ankara. 2012.

Uğur, E., *Kabul ve Kararlılık Terapisi Yönelimli Psikoeğitim Programının Olumsuz Değerlendirilme Korkusu Üzerindeki Etkisi*. Doktora Tezi, Sakarya: Sakarya Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü. 2018.

Verma, M., *Vijayakrishnan A. Psychoanalytic psychotherapy in addictive disorders*. Indian J Psychiatry; 60 (4): 485-489. 2018.

World Health Organization ICD-11 for Mortality and Morbidity Statistics. *Disorders due to substance use or addictive behaviours*: erişim tarihi: 03.05.2025 https://icd.who.int/browse11/l-m/en#/http://id.who.int/icd/entity/1602669465 2021.

Yektaş, Ç., *Kabul ve kararlılık terapisi (ACT).* In: Ercan ES, Bilaç Ö, Perçinel Yazıcı İ ve ark (editors). Çocuk ve Ergen Psikiyatrisi Güncel Yaklaşımlar ve Temel Kavramlar. Ankara: Akademisyen Kitabevi: 1231-1240. 2020.

Yeşilay Dergisi, *Dünyada 8 milyon kişinin bağımlısı olduğu büyük tehlike: sanal kumar*. 2017.

Yıldız, M., Tamam, L., *Bağımlılıkta Psikoterapi Kuramı*, Bağımlılık Dergisi;26(2):247-263. 2025.

Yılmaz, B., *Ortaöğretim kurumlarındaki öğretmen ve yöneticilerin dijital bağımlılık düzeylerinin incelenmesi: Ankara ili Çankaya ilçesi örneği*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi. 2019.

Zhang, X., Shi, X., Xu, S., *The effect of solution-focused group counseling intervention on college students' internet addiction: A pilot study*. Int J Environ Res Public Health; 17(7): 2519. 2020.

Zubaroğlu Yanardağ, M., Bilge, M., Yanardağ, U., *Davranış bağımlılığı ve sosyal hizmet uygulamaları üzerine bir inceleme*. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 7(4): 551-560. 2020.