

CONFERENCE BOOK



HATTUSAS 4. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



**HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 1 – 2, 2026
CORUM**

ISBN: 978-625-8795-35-6

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE



**HATTUSAS 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 1 – 2, 2026
CORUM**

Edited By
PROF. DR. BAŞAK HANEDAN

Issued: 28.08.2026
ISBN: 978-625-8795-35-6

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

In the conference 35 papers have been presented by Turkish participants and 44 papers by international participants.

Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.

Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Web: www.hattusaskongresi.org

Contact: hattusaskongresi@gmail.com

CONFERENCE ID**HATTUSAS 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES****DATE – PLACE****AUGUST 1 – 2, 2026****CORUM****ORGANIZATION****ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS****EVALUATION PROCESS****All applications have undergone a double-blind peer review process.****PARTICIPATING COUNTRIES**

Turkey – Kazakhstan – Ethiopia - Taiwan – Azerbaijan- Moldova- Indonesia- Iraq- Tunisia-
India – Vietnam- Pakistan – Georgia- Morocco- North Macedonia- Algeria - Qatar-

PRESENTATION**Oral presentation**

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.

Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference : Prof. Dr. BAşak Hanedan

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Bilgili - Ankara Üniversitesi

Prof. Dr. Naile Bilgili - Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Başak Hanedan - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Hajar Huseynova - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Dwi Sulisworo - Ahmad Dahlan University

Prof. Zain Musa - Royal Academy of Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain - NICMAR University

Prof Yakup Babayev - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Prof. Dr. Suyatno - Ahmad Dahlan University

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

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

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı - Atatürk Üniversitesi

Prof. Dr. Belkıs Özkara - Afyon Kocatepe Üniversitesi

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna - Zarmed University

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

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

Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - Ataturk Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

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

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

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

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

Assoc. Prof. Dr. Sevrə Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

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

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Üniversitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Türkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Türkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Türkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Türkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Türkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Türkiye

Prof. Dr. Bülent Kurtişoğlu – Türkiye

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 – Türkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Türkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Türkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Türkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Türkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Türkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevrâ Fırıncıoğulları - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Türkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Türkiye

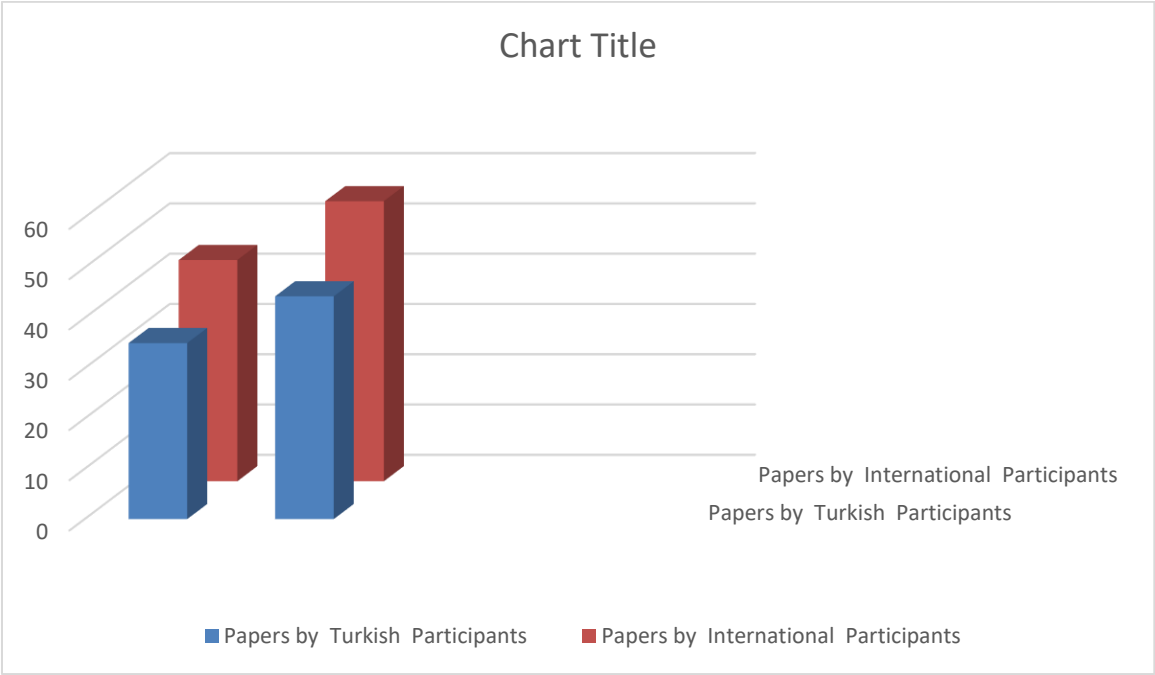
Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Türkiye

- Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Türkiye
- 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 – Türkiye
- Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizistan
- 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 – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India
- Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania
- Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Abışov Elşad Şərəfxan oğlu - Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan
- Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Türkiye
- Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
- Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
- Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
- Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
- Dr. Ayşe Baran - Türkiye
- Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
- Dr. Sonali Malhotra – India
- Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	<i>Number of paper</i>	<i>%</i>
<i>Papers by Turkish Participants</i>	35	44,30
<i>Papers by International Participants</i> <i>(16 Countries)</i>	44	55,70





**HATTUSAS 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 1 – 2, 2026
CORUM**

NO : AC- 4H - 2026. 359U– 3854
Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi

20/08/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES** kongresi 1-2 Ağustos 2026 tarihlerinde Çorum’da 17 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 79 bildirinin 35’i Türkiye’den, 44’ü ise farklı 16 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. Başak Hanedan



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Veteriner Fakültesi Dekanlığı



Sayı : E-36643897-000-2300315795
Konu : Görevlendirilme.

05.10.2023

KLİNİK BİLİMLER BÖLÜMÜ BAŞKANLIĞINA

İlgi : 04.10.2023 tarihli ve E-36643897-000-2300313904 sayılı belge.

İlgide kayıtlı yazıda belirtildiği üzere, Bölümünüz Veterinerlik İç Hastalıkları Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Prof. Dr. Başak HANEDAN'ın, "Academy Global Conferences & Publishing tarafından önümüzdeki tarihlerde düzenlenecek olan uluslararası kongrelerde; kongre başkanı, kongre düzenleme ve bilim kurulu üyesi olarak görevlendirilmesi Dekanlığımızca uygun görülmüştür.

Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof.Dr. Yavuz Selim SAĞLAM
Dekan

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Doğrulama Kodu: c147f559-545f-45be-8400-8eec2b215b38
Atatürk Üniversitesi Veteriner Fakültesi 25240 Erzurum
Tel: +90 442 2317222
Elektronik Ağ: <http://www.atauni.edu.tr/#!birim=veteriner-fakultesi>
Kep Adresi: atauni@hs01.kep.tr

Doğrulama Adresi: <https://www.turkiye.gov.tr/ataturk-universitesi-ebys>

Bilgi: Derya FINDIK
Faks: +90 442 2317244
E-Posta: vetfak@atauni.edu.tr



HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
HATTUSAS 4TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
August 1 – 2, 2026
CORUM

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

<https://us06web.zoom.us/j/88571518350?pwd=f0YazCWBmbAiWrHygjKSjkbbSvotfd.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 moderatör 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 aşılmasını moderatörler temin edecektir.**
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- **Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilir.**
- 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,

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN	1	VIEWS OF PRESCHOOL TEACHERS AND PARENTS ON FAMILY INVOLVEMENT	NAGİHAN KARAMAN ÖNER Prof. Dr. İLKNUR MAYA
		2	OKUL ÖNCESİ EĞİTİMDE AÇIK HAVA ETKİNLİKLERİNİN GEREKLİLİĞİ VE UYGULAMALARINA YÖNELİK ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ	Yasemin İNCE Prof. Dr. İlknur MAYA
		3	CHALLENGES FACED BY PRIMARY SCHOOL ENGLISH TEACHERS IN AI-SUPPORTED CLASSROOMS: A CASE STUDY	Ebru Güvener Prof. Dr. Cenk AKAY
		4	MIDDLE SCHOOL STUDENTS' TEST ANXIETY LEVELS: A MIXED METHODS STUDY	Ebru Güvener Prof. Dr. Cenk AKAY
		5	OKUL ÖNCESİ EĞİTİMDE GÜN DEĞERLENDİRMESİ: ÖĞRETMEN ADAYLARININ UYGULAMA SÜRECİNDEKİ YANSITICI RAPORLARI ÜZERİNDEN BİR İNCELEME	Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN
		6	KİTAP FUARI BİR DERS ORTAMI OLABİLİR Mİ? OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMEN ADAYLARININ ARGÜMAN VE KARŞI ARGÜMANLARI	Dr. Gamze BİLİR-SEYHAN
		7	ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN OKUL İKLİMİ ALGILARI ÜZERİNE KARMA YÖNTEM ARAŞTIRMASI	FATMA WILLEMS Prof. Dr. CENK AKAY
		8	ORTAOKUL ÖĞRENCİLERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİR YAŞAMA YÖNELİK FARKINDALIKLARI İLE EKOLOJİK OKURYAZARLIK DÜZEYLERİNİN İNCELENMESİ	FATMA WILLEMS Prof. Dr. CENK AKAY

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. CANAN NAKİBOĞLU	1	MÜZİK ÖĞRETMENİ YETİŞTİREN KURUMLARDA VERİLEN FLÜT EĞİTİMİNE İLİŞKİN MÜZİK ÖĞRETMENİ ADAYLARININ GÖRÜŞLERİ	YL Öğr. MERİÇ RAZLIK Prof. Dr. Feyza SÖNMEZÖZ
		2	PRE-SERVICE CHEMISTRY TEACHERS' VIEWS ON THE GOALS OF CONTEMPORARY EDUCATION, SCIENCE, AND WHY CHEMISTRY IS TAUGHT	Prof. Dr. CANAN NAKİBOĞLU
		3	INITIAL VIEWS OF PRE-SERVICE CHEMISTRY TEACHERS ON INTERDISCIPLINARY TEACHING AND ITS SIGNIFICANCE IN CHEMISTRY EDUCATION	Prof. Dr. CANAN NAKİBOĞLU
		4	MEB TÜRKİYE YÜZYILI MAARİF MODELİ OKUL ÖNCESİ EĞİTİM PROGRAMINDA YER ALAN OKURYAZARLIK BECERİLERİNE İLİŞKİN ÖĞRETMEN GÖRÜŞLERİ	Öğretmen EMİNE AHRAZ Dr. Öğr. Üyesi ASUMAN BİLBAY
		5	YABANCI DİL OLARAK TÜRKÇE ÖĞRETİMİNDE HAZIRLIKSIZ KONUŞMADA KARŞILAŞILAN GÜÇLÜKLER: ANA DİLE DAYALI KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ	Yüksek Lisans Öğrencisi, DÜRDANE ERVA ŞAHAN Prof. Dr. HARUN ŞAHİN
		6	A2 LEVEL EFL LEARNERS' PERCEPTIONS TOWARDS ENGLISH LANGUAGE TESTS SUPPORTED BY VISUALS	Lect. İbrahim KAYACAN Prof. Dr. Nalân KIZILTAN
		7	A CORPUS LINGUISTIC APPROACH TO THE CLIMATE CHANGE DISCOURSE IN EFL COURSEBOOKS IN TÜRKİYE	Öğr. Gör. ÖZLEM SARI Prof. Dr. NALAN KIZILTAN

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Ali Murat AKTEMUR	1	FACADE DECORATION OF ASSICURAZIONI GENERALI HAN	Prof. Dr. Ali Murat AKTEMUR
		2	FACADE DESIGN AND AESTHETICS IN THE HISTORICAL FREJ APARTMENT BUILDING	Prof. Dr. Ali Murat AKTEMUR
		3	THE TRANSFORMATION OF TEXTURE IN PAINTING THROUGH THE MONOPRINT TECHNIQUE	Filiz PÜR Doç. Ahmet Kürşat ALBAYRAK
		4	THE SÛR-I HÜMÂYUN İN ULVÎ'S SÛRİYYE QASÎDA	Doç. Dr., MURAT KEKLİK
		5	TRACES OF THE 1563 FLOOD AND THE GREAT FIRE OF 1569 İN DERZİ-ZÂDE 'ULVÎ'S ÂTEŞ Ü ÂB QASÎDA	Doç. Dr., MURAT KEKLİK
		6	DESEN EĞİTİMİNİN TÜRKİYE'DEKİ TARİHSEL GELİŞİMİ VE GÖRSEL SANATLAR EĞİTİMİNDEKİ YERİ	Dr. Öğr. Üyesi HANDE BOLU SERT Yüksek Lisans Öğrencisi RABİA BAHAR ÜNAL
		7	KARAR ANI KAVRAMI BAĞLAMINDA DİJİTAL KÜLTÜRDE FOTOĞRAF İLE VIDEO ARASINDAKİ SINIRLARIN DÖNÜŞÜMÜ	Doktora Adayı Tuğba AKBAŞ

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assist. Prof. Dr.. Şafak ÇINAR	1	MACHIAVELLI'DE VIRTÜ VE SİYASAL LİDERLİK: BELİRSİZLİK ALTINDA SİYASAL KARAR ALMA ÜZERİNE KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME	Dr. ALPER GÜLBAY
		2	THE IMPACT OF THE NEW PUBLIC MANAGEMENT APPROACH ON DIGITAL PUBLIC ADMINISTRATION: A THEORETICAL EVALUATION	Assist. Prof. Dr.. Şafak ÇINAR
		3	SOSYAL MEDYA ARAŞTIRMASI SONUCU İŞ SÖZLEŞMESİNİN KURULAMAMASININ HUKUKİ BOYUTU	Yüksek Lisans Öğrencisi, RÜMEYSA DERİNYAR
			İŞVEREN TARAFINDAN İŞ SÖZLEŞMESİNİN İŞK m. 25/II-a UYARINCA FESHİNDE ESASLI NEDEN KAVRAMI	Yüksek Lisans Öğrencisi, RÜMEYSA DERİNYAR
		4	DİJİTAL VESAYET ALTINDA YAŞLANMAK: DİJİTAL OKURYAZARLIĞI SINIRLI OLAN YAŞLILARIN DİJİTAL DEVLET KARŞISINDAKİ YALNIZLIĞI	Öğr. Gör. Dr., MUHAMMET BENER
		5	YALNIZLIĞIN POLİTİKLEŞMESİ: KARŞILAŞTIRMALI POLİTİKA DERLEMESİ	Öğr. Gör. Dr., MUHAMMET BENER

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Doç. Dr. HAKKI KIYMIK Doç. Dr. FERHAT BİTLİSLİ	1	TÜRK-ÖZBEK İLİŞKİLERİN TÜRK DEVLETLERİ TEŞKİLATI ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Lisansüstü Öğrencisi, Valiev Jamshidbek
		2	MONITORING THE SPANISH TURMOIL: TURKISH FOREIGN POLICY AND THE SECOND SPANISH REPUBLIC (1931–1936)	Asst. Prof. UĞUR SERÇE
		3	AN ANALYSIS OF CONSUMER THEORY ON THE AXIS OF BOUNDED RATIONALITY	Doktor Öğretim Üyesi, FARUK SEZER
		4	INTERTEMPORAL CHOICES WITHIN THE FRAMEWORK OF TIME INCONSISTENCY: A BIBLIOMETRIC ANALYSIS	Doktor Öğretim Üyesi, FARUK SEZER
		5	LOS TURCOS: 19. VE 20. YÜZYILLARDA OSMANLI İMPARATORLUĞU İLE LATİN AMERİKA ARASINDA TİCARET, GÖÇ VE TİCARİ AĞLAR	Dr.Araş.Gör. MUSTAFA CAN GÜRİPEK
		6	THE PREDICTIVE ROLE OF E-CUSTOMER PERCEPTIONS IN ONLINE IMPULSE BUYING: EVIDENCE FROM TRENDYOL AND HEPSİBURADA USERS	Dr. Serhat ATA
		7	KONKORDATO ÖN PROJESİ GERÇEKLEŞMELERİNİN MEVSİMSELLİK EKSENİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ: BİR TURİZM TAŞIMACILIĞI VAKASI	Doç. Dr. HAKKI KIYMIK Doç. Dr. FERHAT BİTLİSLİ
		8		

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	DOÇ. DR. HANDE BABA KAYA	1	İLERİ PREMATÜRE BEBEKLERİN TABURCULUK SÜRECİNİN EBEVEYN PSİKOLOJİSİNE YANSIMALARI	Öğr. Gör. Dr. EDA ÖZTÜRK BELET
		2	TÜRKİYE'DEKİ GÖÇMEN ÇOCUKLARDA TÜRKÇE YETERLİĞİ VE AKADEMİK UYUM: LİTERATÜR TEMELLİ BİR DEĞERLENDİRME	Psychologist Şeyhmus ÜSTÜNDAĞ
		3	AN ANALYSIS OF PLATO'S CONCEPT OF THE STATE FROM THE PERSPECTIVE OF HUMAN RIGHTS	Dr., Aydın ÇİÇEK
		4	GILLES DELEUZE'S CRITIQUE OF PSYCHOANALYSIS	Dr., Aydın ÇİÇEK
		5	MODERNIZATION AND CULTURAL HERITAGE: PRESERVATION, IDENTITY, AND SOCIAL TRANSFORMATION	Doç. Dr. SERDAR NERSE Yüksek Lisans Öğrencisi ZEYNEP YELKEN
		6	YABANCILAŞMA VE BATILILAŞMA KAVRAMLARI EKSENİNDE TÜRK TİYATROSUNDA İŞLENEN TOPLUMSAL YAPIDAKİ DEĞİŞİMİ ANLAMAYA DAİR BİR İNCELEME	Dr. Batuhan ŞUORUÇ Öğr. Gör. Dr. Barış TÜZÜNER
		7	TİYATRO OYUNLARINDA DİYALOGLARLA AHLAKİ EROZYONA TEPKİNİN DİN SOSYOLOJİSİ VE ELEŞTİREL PERSPEKTİFTEN DEĞERLENDİRİLMESİ	Öğr. Gör. Dr. Barış TÜZÜNER Dr. Batuhan ŞUORUÇ
		8	SPORDA İMGELEME BECERİSİNİN MOTİVASYON ÜZERİNE ETKİSİ	DOÇ. DR. HANDE BABA KAYA PROF. DR. SELAHATTİN AKPINAR DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZNUR AKPINAR DR. MELEK KURŞUNEL
		9	PİLATESİN FİZİKSEL GÖRÜNÜŞ MÜKEMMELİYETÇİLİĞİ VE SOSYAL GÖRÜNÜŞ KAYGISI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN BEDEN İMAJİ ARACILIĞI İLE İNCELENMESİ	DOÇ. DR. HANDE BABA KAYA PROF. DR. SELAHATTİN AKPINAR DR. ÖĞR. ÜYESİ ÖZNUR AKPINAR DR. MELEK KURŞUNEL

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Prof. Dr. Şükrü Hakan ATALGIN	1	KOYUNLARDA THEİLERİSİS HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR	Dr. NİHAT YUMUŞAK
		2	KÖPEKLERDE LEİSHMANİASİSİN PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ	Dr. NİHAT YUMUŞAK
		3	KOYUN AKCİĞERLERİNDE BRONŞ AĞACININ KOROZYON KAST TEKNİĞİ İLE ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ	Yiğit GENÇ Şükrü Hakan ATALGIN
		4	TAVUKLARDA BOYUN BÖLGESİNDEKİ ANA DAMARLARIN (ARTERIA CAROTIS ve VENA JUGULARIS) MAKROANATOMİK İNCELENMESİ ve KESİM NOKTALARININ TESPİTİ	Alp Kerim AKKUŞ Şükrü Hakan ATALGIN
		5	KOYUN RUMEN MUKOZASINDAKİ PAPİLLALARIN FARKLI KÖR KESELERDE (SACCI) MAKROSKOPİK OLARAK HARİTALANMASI VE YOĞUNLUK HESABI	Raif ACAR Şükrü Hakan ATALGIN
		6	ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİNDE ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ MÜHENDİSLİĞİNİN TAMAMLAYICI ROLLERİ	Dr. Mustafa İlker SÜRER Prof. Dr. Nilüfer YAZICI
		7	HAVZA ÖLÇEĞİNDE ORMANSIZLAŞMANIN AKARSU EKOSİSTEMLERİ VE BALIK TOPLULUKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Dr. Mustafa İlker SÜRER Prof. Dr. Nilüfer YAZICI

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Teresa Aquino	1	TRADITIONAL WEAVING TECHNIQUES AND THEIR INTEGRATION INTO MODERN FILIPINO FASHION DESIGN	Daniel Torres Maria Velasco Assoc. Prof. Dr. Regina Salazar Isabel Cruz
		2	CULTURAL SYMBOLISM IN BALINESE PAINTING AND ITS TRANSFORMATION IN MODERN VISUAL ARTS	Dr. Made Wirawan Ketut Sari Ayu Lestari
		3	CONTEMPORARY FILIPINO STREET ART AS A MEDIUM OF POLITICAL EXPRESSION AND SOCIAL COMMENTARY	Assoc. Prof. Dr. Miguel Reyes Carlos Dela Cruz
		4	PRESERVATION OF INDIGENOUS ART FORMS IN PHILIPPINE RURAL COMMUNITIES THROUGH DIGITAL ARCHIVING	Dr. Liza Fernandez Ana Santos Roberto Villanueva
		5	THE ROLE OF FILIPINO CINEMA IN SHAPING NATIONAL IDENTITY IN THE 21ST CENTURY	Prof. Dr. Juan Bautista Elena Garcia Marco Lopez
		6	VISUAL NARRATIVES IN FILIPINO CONTEMPORARY PHOTOGRAPHY AND URBAN TRANSFORMATION	Dr. Teresa Aquino Paolo Mendoza
		7	REVITALIZATION OF TRADITIONAL BATIK ART THROUGH CONTEMPORARY DESIGN PRACTICES IN INDONESIA	Rina Prameswari Prof. Dr. Agus Santoso
		8	AFRICAN MASK ART AND ITS INFLUENCE ON CONTEMPORARY SENEGALESE SCULPTURE	Prof. Dr. Mamadou Diop Aissatou Ndiaye

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Jose Manuel Santos Assoc. Prof. Dr. Leilani Garcia	1	GLOBAL POWER TRANSITIONS AND THE FUTURE OF INTERNATIONAL ORDER	Prof. Dr. Amina Rahman Dr. Joshua Santoso Assoc. Prof. Dr. Maria del Carmen Reyes
		2	REGIONAL SECURITY COOPERATION IN THE INDO-PACIFIC ERA	Dr. Rizal Putra Prof. Dr. Nadia Wulandari Assis. Prof. Dr. Kevin Dela Cruz Dr. Farah Indriani
		3	SMALL STATES, BIG STRATEGIES: DIPLOMACY AND SURVIVAL IN GLOBAL POLITICS	Dr. Jose Manuel Santos Assoc. Prof. Dr. Leilani Garcia
		4	THE ROLE OF INTERNATIONAL ORGANIZATIONS IN MANAGING CONFLICT AND PEACEBUILDING	Prof. Dr. Cristina Navarro Dr. Mark Anthony Lim Assis. Prof. Dr. Patricia Mendoza Dr. Renato Villanueva Dr. Hanna Solis
		5	ECONOMIC INTERDEPENDENCE AND POLITICAL CHALLENGES IN MODERN DIPLOMACY	Prof. Dr. Emmanuel Diop Dr. Fatou Sy Assoc. Prof. Dr. Mamadou Ndiaye
		6	CLIMATE CHANGE, MIGRATION, AND CROSS-BORDER GOVERNANCE IN GLOBAL AFFAIRS	Dr. Laila Sylla Prof. Dr. Abdoulaye Fall Dr. Khadija Ba
		7	CYBERSECURITY, DIGITAL SOVEREIGNTY, AND INTERNATIONAL RELATIONS IN THE 21ST CENTURY	Dr. Pierre Ndao Assoc. Prof. Dr. Awa Gaye Dr. Serigne Mbow Assis. Prof. Dr. Mariama Sow
		8	AFRICAN DIPLOMACY AND MULTILATERAL ENGAGEMENT IN A CHANGING WORLD	Prof. Dr. Ousmane Camara Dr. Aminata Diallo
		9	HUMAN RIGHTS, INTERVENTION, AND THE LIMITS OF GLOBAL RESPONSIBILITY	Dr. Sophie Ndiaye Assoc. Prof. Dr. El Hadji Ba Dr. Khady Cisse Prof. Dr. Mamadou Kane

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assis. Prof. Dr. Dwi Lestari	1	THE ROLE OF DIGITAL TRANSFORMATION IN SHAPING INCLUSIVE ECONOMIC GROWTH AND PRODUCTIVITY DYNAMICS IN EMERGING MARKET ECONOMIES	Prof. Dr. Arif Nugroho Dr. Siti Rahmawati Assoc. Prof. Dr. Budi Santoso Nadia Putri
		2	INFLATION TARGETING, MONETARY POLICY TRANSMISSION, AND HOUSEHOLD WELFARE EFFECTS IN DEVELOPING COUNTRIES	Assis. Prof. Dr. Dwi Lestari Prof. Dr. Muhammad Fadli Rizky Hidayat Dr. Anisa Kurnia
		3	THE IMPACT OF OIL PRICE SHOCKS, EXCHANGE RATE PASS-THROUGH, AND FISCAL RESPONSE MECHANISMS ON MACROECONOMIC STABILITY	Prof. Dr. Aigerim Tulegenova Dr. Nurlan Beketov Assoc. Prof. Dr. Dana Yerzhan Ayanat Sarse
		4	LABOR MARKET FLEXIBILITY, HUMAN CAPITAL FORMATION, AND YOUTH EMPLOYMENT OUTCOMES UNDER STRUCTURAL ECONOMIC CHANGE	Dr. Aizhan Kassen Prof. Dr. Marat Ualikhan Assoc. Prof. Dr. Saltanat Yessengaliyeva Dias Zhumagulov Arman Otegen
		5	FINANCIAL INCLUSION, MICROFINANCE ACCESS, AND SMALL ENTERPRISE RESILIENCE IN REGIONAL ECONOMIC DEVELOPMENT	Prof. Dr. Farzaneh Mohammadi Dr. Mehdi Karimi Assoc. Prof. Dr. Leila Hosseini
		6	TRADE LIBERALIZATION, INDUSTRIAL POLICY DESIGN, AND EXPORT COMPETITIVENESS IN TRANSITION ECONOMIES	Assoc. Prof. Dr. Hossein Khosravi Mina Ebrahimzadeh Navid Shadman
		7	CLIMATE RISKS, AGRICULTURAL PRODUCTIVITY, AND SUSTAINABLE RESOURCE ALLOCATION IN NATIONAL DEVELOPMENT STRATEGIES	Assis. Prof. Dr. Abbas Nouri Dr. Maryam Taleghani Hossein Pournazari
		8	THE ECONOMIC CONSEQUENCES OF INFRASTRUCTURE INVESTMENT, REGIONAL CONNECTIVITY, AND URBANIZATION PATTERNS IN EAST AFRICA	Dr. Asha Mwakyusa Prof. Dr. Emmanuel Msuya Assoc. Prof. Dr. Rehema Mdee

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Prof. Dr. Sergiu Balan	1	EU LEGAL HARMONIZATION PROCESSES IN MOLDOVA'S COMMERCIAL LAW SYSTEM	Dr. Cristina Moraru
		2	CORPORATE LAW REFORMS AND INVESTOR PROTECTION IN KAZAKHSTAN'S BUSINESS ENVIRONMENT	Assoc. Prof. Dr. Aigerim Sadykova Nursultan Bekov Dana Akhmetova
		3	POST-CONFLICT LEGAL REFORMS AND RULE OF LAW DEVELOPMENT IN IRAQ	Dr. Hassan Al-Maliki Zainab Kareem Ali Abbas
		4	HUMAN RIGHTS PROTECTION MECHANISMS IN IRAQI CONSTITUTIONAL LAW	Prof. Dr. Omar Al-Jubouri Sara Al-Hadithi
		5	JUDICIAL INDEPENDENCE AND ANTI-CORRUPTION POLICIES IN MOLDOVAN LEGAL SYSTEM	Assoc. Prof. Dr. Ion Vlas Elena Rotaru Mihai Cojocaru
		6	LEGAL FRAMEWORKS FOR DIGITAL PRIVACY PROTECTION IN INDONESIA'S EMERGING TECHNOLOGY SECTOR	Prof. Dr. Andi Prasetyo Dewi Lestari Rizky Saputra
		7	LEGAL CHALLENGES IN MIGRATION AND ASYLUM POLICIES IN MOLDOVA	Prof. Dr. Sergiu Balan Ana Rusu
		8	COMPARATIVE ANALYSIS OF ISLAMIC AND CIVIL LAW IN INDONESIAN FAMILY COURTS	Assoc. Prof. Dr. Nur Hidayah Fajar Nugroho
		9	ENVIRONMENTAL LAW AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICIES IN KAZAKHSTAN	Dr. Yerlan Tulegenov Assis. Prof. Dr. Madina Kenzhebek Aruzhan Omarova
		10	CRIMINAL LAW REFORMS AND CYBERCRIME REGULATION IN MODERN KAZAKHSTAN	Prof. Dr. Bauyrzhan Iskakov Altynai Sarsembayeva

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Dr. Tran Van Phuc	1	INNOVATIVE PEDAGOGICAL APPROACHES FOR DIGITAL LEARNING ENVIRONMENTS IN TUNISIAN HIGHER EDUCATION	Assis. Prof. Dr. Hichem Ben Salem Amira Khlifi Dr. Youssef Mansouri
		2	CURRICULUM REFORM STRATEGIES FOR IMPROVING SECONDARY EDUCATION OUTCOMES IN TUNISIA	Assoc. Prof. Dr. Salma Gharbi Nour Trabelsi
		3	INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN CLASSROOM TEACHING PRACTICES IN INDIAN SCHOOLS	Prof. Dr. Rajiv Menon Ananya Iyer Dr. Kunal Verma Ritika Sharma
		4	TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT MODELS FOR RURAL EDUCATION IN INDIA	Dr. Pooja Nair Arjun Kulkarni
		5	DIGITAL LITERACY AND STUDENT ENGAGEMENT IN VIETNAMESE UNIVERSITIES	Assoc. Prof. Dr. Nguyen Thi Huong Le Minh Duc Pham Quang Huy
		6	BLENDED LEARNING APPROACHES IN STEM EDUCATION IN VIETNAM	Dr. Tran Van Phuc
		7	ASSESSING THE IMPACT OF MOBILE LEARNING APPLICATIONS ON STUDENT PERFORMANCE IN VIETNAM	Prof. Dr. Hoang Minh Tuan Ngoc Bui Dr. Lan Pham
		8	EDUCATIONAL LEADERSHIP AND SCHOOL IMPROVEMENT STRATEGIES IN PAKISTAN	Prof. Dr. Imran Qureshi Ayesha Siddiqui Bilal Ahmed
		9	GENDER INEQUALITY IN ACCESS TO EDUCATION IN RURAL PAKISTAN	Dr. Sana Tariq Hassan Raza Mehwish Ali Farhan Javed

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 13	Assoc. Prof. Dr. Yerlan Zhumabayev	1	MACROECONOMIC DIVERSIFICATION STRATEGIES IN RESOURCE-DEPENDENT ECONOMIES OF KAZAKHSTAN	Dr. Aigerim Sadykova Nurlan Bektemirov Dana Kairat Ainur Tolegenova
		2	DIGITAL FINANCIAL INCLUSION AND ITS IMPACT ON RURAL ECONOMIC DEVELOPMENT IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Yerlan Zhumabayev
		3	AGRICULTURAL PRODUCTIVITY AND CLIMATE CHANGE ADAPTATION POLICIES IN ETHIOPIAN ECONOMY	Dr. Tesfaye Mekonnen Abel Girma Selam Desta
		4	INFORMAL ECONOMY DYNAMICS AND URBAN EMPLOYMENT STRUCTURES IN ADDIS ABABA	Prof. Dr. Bekele Hailu Marta Kebede
		5	TECHNOLOGY-DRIVEN ECONOMIC GROWTH MODELS IN TAIWAN'S SEMICONDUCTOR INDUSTRY	Prof. Dr. Chen Wei-Lun Lin Yu-Hao Tsai Mei-Fang Huang Jia-Ren
		6	SMALL AND MEDIUM ENTERPRISE INNOVATION POLICIES IN TAIWAN'S GLOBAL TRADE NETWORKS	Assoc. Prof. Dr. Wu Cheng-Han Liu Pei-Shan
		7	THE ROLE OF EXPORT-ORIENTED INDUSTRIALIZATION IN TAIWAN'S ECONOMIC TRANSFORMATION	Dr. Lin Chao-Hsiung Wang Yi-Ting Cheng Po-Yu
		8	ENERGY ECONOMICS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT POLICIES IN AZERBAIJAN'S POST-OIL ERA	Prof. Dr. Kamran Mammadov Aysel Rzayeva Farid Guliyev

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğr. Üyesi Utku ŞANVER	1	PENETROMETER USE IN AGRICULTURE	Hüseyin Ramazanov Sezai Delibacak
		2	PRUNING WASTE COMPOSTING: A COMPARATIVE REVIEW OF PROCESSES, PROPERTIES, AND APPLICATIONS	Tumaris Urazbayeva Sezai Delibacak
		3	EFFECTS OF DIFFERENT APPLICATION RATES OF BLACK SOLDIER FLY (<i>Hermetia illucens</i> L.) FRASS ON THE GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE OF LETTUCE (<i>Lactuca sativa</i> L.)	Agricultural Eng. İBRAHİM KÜRŞAT BÜLBÜL Assoc. Prof. Dr. NERİMAN TUBA BARLAS
		4	YAĞLI TOHURLU BİTKİLERDE GÖRÜLEN ÖNEMLİ BAKTERİYEL HASTALIKLAR	Dr. Öğr. Üyesi Utku ŞANVER

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assist. Prof. Eda KAYA PEPELE	1	ACİL SERVİS HEMŞİRELERİNDE YORGUNLUK VE YORGUNLUĞU ETKİLEYEN FAKTÖRLER	Elif TURAN Dr. Öğr. Üyesi Rabia Buse AYYILDIZ
		2	DOSIMETRIC EVALUATION OF HYBRID IMRT AND HYBRID VMAT PLANS IN HYPOFRACTIONATED LEFT-BREAST RADIOTHERAPY FOLLOWING BREAST-CONSERVING SURGERY	Assist. Prof. Eda KAYA PEPELE
		3	TRANSFORMING PRECONCEPTION CARE: CONTEMPORARY APPROACHES IN THE LIGHT OF PRIMARY CARE PRACTICES AND GLOBAL EVIDENCE	Res. Assist. Dr. Seda GÜRAY Assoc. Prof. Dr. Özlem KOÇ
		4	PREPARING FUTURE MIDWIVES AND NURSES FOR PRECONCEPTION CARE: CONTEMPORARY APPROACHES TO EDUCATION, COMPETENCY, AND CLINICAL PRACTICE	Res. Assist. Dr. Seda GÜRAY Assoc. Prof. Dr. Özlem KOÇ
		5	PARTICLE STABILITY IN THE BEVERAGE INDUSTRY: SEDIMENTATION PROBLEMS AND SOLUTION APPROACHES	ŞEYMA ARIKAYA

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr., Alper Kürşat UYSAL	1	A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CLASSIFICATION PERFORMANCE OF TRADITIONAL AND ADVANCED MACHINE LEARNING METHODS ON A BREAST CANCER DATASET	Öğr. Gör. İlyas Güvenç PİRGE
		2	EVALUATING THE EFFECT OF ANNOTATION CONFIDENCE ON TRADITIONAL MACHINE LEARNING FOR HATE SPEECH DETECTION	Prof. Dr., Alper Kürşat UYSAL
		3	A COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP LEARNING-BASED OBJECT DETECTION MODELS FOR WEED DETECTION IN MAIZE FIELDS	Lecturer Dr., Mahmut AYDIN
		4	SAFRA TAŞI HASTALIĞININ ERKEN TAHMİNİ İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: KAN VE SUPERLEARNER YAKLAŞIMLARI	MELEK SELCAN KAYMAKÇI Dr.,NURDAN YENİAY KOÇER Doç. Dr.,HASAN HÜSEYİN GÜL
		5	DİYABET TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ VE LİME TABANLI AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKÂ YAKLAŞIMI	MELEK SELCAN KAYMAKÇI Dr.,NURDAN YENİAY KOÇER Doç. Dr.,HASAN HÜSEYİN GÜL
		6	PROPER RIORDAN ARRAYS AND THEIR APPLICATION	ERDEM DOĞAN Prof. Dr. NEŞE ÖMÜR
		7	ORGANİK BOYALI GÖZLÜK MERCEKLERİNDE UV KESİM DALGA BOYUNUN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ	Öğrenci Beyza MUHÇU Öğr. Gör. Cihat GÜLERYÜZ
		8	İNSAN KAYNAKLARI ANALİTİĞİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI KARAR DESTEK SİSTEMLERİNE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE	Nurhayat BOZDAŞ AYDIN Tülay KORKUSUZ POLAT

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Bahtiyar Ozturk	1	OVERCOMING THE HESITATION TOWARDS EFFECTIVE CCS ADOPTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ECONOMIC BARRIERS AND THE DE-RISKING POTENTIAL OF CARBON UTILIZATION	Rahmat Assibi Ibrahim Prof. Dr. Bahtiyar Ozturk
		2	COMPARISON OF AIR POLLUTION CHARACTERSTICIS OF SAMSUN AND BAGHDAD	Mohammed Albaqer Jaafar Ameen Ameen Prof.Dr.Bahtiyar ÖZTÜRK
		3	BANDIRMA LİMANI'NDA FOTOVOLTAİK ENTEGRASYONU: DÖKME YÜK ODAKLI BİR YEŞİL LİMAN İÇİN TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME	Dr. Öğr. Üyesi Üstün ATAK
		4	VISUAL QUALITY ASSESSMENT OF A SCENIC ROAD: THE HOPA-KOPMUŞ CASE	Landscape Architecture, Seden AŞIK Prof. Dr., BANU KARAŞAH
		5	ASSESSMENT OF THE RECREATIONAL POTENTIAL OF A FOREST ROAD AND ITS SURROUNDINGS: THE HOPA-KOPMUŞ (ARTVİN) EXAMPLE	Landscape Architecture, Seden AŞIK Prof. Dr., BANU KARAŞAH

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr.Öğr. Üyesi Serap ÇAŞKURLU	1	SOLVOTHERMALLY SYNTHESIZED INDIUM GALLIUM ZINC OXIDE (IGZO) FOR HIGH-PERFORMANCE SELF-POWERED UV-VISIBLE PHOTODETECTORS	Dr. Ahmet Emre KASAPOĞLU
		2	GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİNİN GÜÇ AKIŞI VE KAYIPLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi ENES KAYMAZ Prof. Dr. M. Kenan DÖŞOĞLU Öğr. Gör. Dr. Muhammet DEMİRBAŞ
		3	FDB-SFS ALGORITHM AND BODE'S IDEAL REFERENCE MODEL BASED PID CONTROLLER DESIGN FOR AUTOMOBILE CRUISE CONTROL SYSTEM	Öğr. Gör. Dr., Muhammet DEMİRBAŞ Prof. Dr., M. Kenan DÖŞOĞLU Dr. Öğr. Üyesi., Enes KAYMAZ
		4	ENVIRONMENTAL AND TECHNICAL PERFORMANCE ANALYSIS OF BIO-BASED FOOTWEAR UPPER MATERIALS	Kübra ŞAHİN Dr.Öğr. Üyesi Serap ÇAŞKURLU
		5	MODULAR DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING APPROACHES FOR SUSTAINABILITY IN THE FOOTWEAR INDUSTRY	Ebrar BAŞARAN Dr.Öğr. Üyesi Serap ÇAŞKURLU
		6	INFLUENCE OF THREE DEEP EUTECTIC SOLVENT SYSTEMS ON THE PHENOLIC AND FLAVONOID CONTENTS, ANTIOXIDANT AND ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF SINAPIS ALBA FLOWER EXTRACTS	Türkan AKDOĞAN Ayşe UTNİ Hilal Naz ARAZ Res. Asst. Dr. Ayşegül İNAM
		7	FORECASTING THE BIST 100 INDEX USING PSO-TRAINED DENDRITIC NEURON MODELS: A COMPARISON OF CAUCHY AND SIGMOID ACTIVATION FUNCTIONS	Öğr. Gör., Mete ÖZDEMİR

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fetih YANARDAĞ	1	KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKE MARTYR OUR WRITER OĞUZ PAKÖZ'S LIFE – ART AND WORKS	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fetih YANARDAĞ
		2	WOMEN'S STRUGGLES FOR LIBERATION AND ALIENATION IN TURKISH FICTION (1940-1950)	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fetih YANARDAĞ Havva GÜVEN
		3	EY ÂŞIK-I SÂDİK: SARI ABDULLAH EFENDİ'NİN CEVÂHİR-İ BEVÂHİR-İ MESNEVÎ ADLI ESERİNDEKİ HİTAP İFADELERİ VE BU İFADELERİN OKUR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNE DAİR BİR İNCELEME	Dr. Sait AVCI
		4	THE REASONS FOR THE EMERGENCE OF RIWAYAH AND DIRAYAH SCHOOLS IN THE HISTORY OF ISLAMIC THOUGHT	MELİH BULUT

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Marija Veljanovska	1	PUBLIC SECTOR DIGITAL TRANSFORMATION AND E-GOVERNANCE IMPLEMENTATION CHALLENGES IN GEORGIA	Dr. Youssef El Amrani Fatima Zahra El Idrissi Karim Boulahya
		2	LOCAL GOVERNMENT DECENTRALIZATION AND CITIZEN PARTICIPATION MECHANISMS IN GEORGIAN MUNICIPALITIES	Prof. Dr. Nino Kharadze Levan Giorgadze Dr. Ana Tsulukidze
		3	PUBLIC ADMINISTRATION REFORMS AND TRANSPARENCY INITIATIVES IN MOROCCAN GOVERNANCE SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Aleksandar Petreski Elena Ristovska Dr. Bojan Trajchev
		4	EVALUATION OF SOCIAL POLICY IMPLEMENTATION AND PUBLIC SERVICE DELIVERY IN RURAL MOROCCO	Prof. Dr. Hassan El Fassi Salma Benkirane
		5	PUBLIC FINANCIAL MANAGEMENT AND BUDGETARY CONTROL SYSTEMS IN NORTH MACEDONIA	Assoc. Prof. Dr. Irakli Dolidze Mariam Japaridze
		6	E-GOVERNMENT ADOPTION AND DIGITAL PUBLIC SERVICES IN NORTH MACEDONIAN INSTITUTIONS	Dr. Marija Veljanovska
		7	THE ROLE OF PUBLIC INSTITUTIONS IN ECONOMIC DEVELOPMENT STRATEGIES IN NORTH MACEDONIA	Prof. Dr. Nikola Stojanov Ivana Dimitrova Petar Iliev
		8	ANTI-CORRUPTION POLICIES AND GOVERNANCE REFORMS IN ALGERIAN PUBLIC ADMINISTRATION	Assoc. Prof. Dr. Karim Boukhalfa Nadia Benali

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Dr. Kamran Huseynov	1	ASSESSING THE IMPACT OF PRIMARY HEALTHCARE REFORMS ON RURAL POPULATION HEALTH OUTCOMES IN KAZAKHSTAN	Prof. Dr. Aigerim Sadvakassova Nurlan Beketov Dr. Dana Utepova
		2	MATERNAL AND CHILD HEALTH IMPROVEMENT STRATEGIES IN SEMI-URBAN REGIONS OF KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Yerzhan Kassenov Ainur Tolegenova
		3	NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND PUBLIC HEALTH INTERVENTIONS AMONG CHILDREN IN ETHIOPIAN COMMUNITIES	Dr. Mekdes Alemayehu Tesfaye Bekele Hana Girma Abel Tadesse
		4	EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASE SPREAD IN RURAL ETHIOPIA	Prof. Dr. Dawit Kebede Selamawit Desta
		5	THE ROLE OF TELEMEDICINE IN IMPROVING HEALTHCARE ACCESS IN RURAL TAIWAN	Prof. Dr. Wei-Chung Lin Mei-Hua Chen Dr. Chao-Hsiang Wu
		6	ADVANCES IN CANCER DIAGNOSTICS USING AI-BASED IMAGING TECHNOLOGIES IN TAIWAN	Assoc. Prof. Dr. Yu-Ting Huang Chun-Yu Tsai
		7	MENTAL HEALTH AWARENESS AND COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN TAIWANESE YOUTH	Dr. Li-Hsin Chang Pei-Yu Lin Hsiao-Ting Kuo Jia-Hao Wang
		8	PUBLIC HEALTH POLICY REFORMS AND THEIR IMPACT ON URBAN HEALTH SYSTEMS IN AZERBAIJAN	Prof. Dr. Leyla Mammadli Rashad Guliyev Aysel Karimova Elvin Aliyev
		9	ENVIRONMENTAL HEALTH RISKS AND AIR POLLUTION EFFECTS IN INDUSTRIAL REGIONS OF AZERBAIJAN	Assoc. Prof. Dr. Kamran Huseynov

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Elena Rusu	1	PARASITIC INFECTIONS AND THEIR IMPACT ON SHEEP PRODUCTION IN MOLDOVAN AGRICULTURE	Prof. Dr. Victor Stratulat Ana Balan Sergiu Munteanu Irina Cojocaru
		2	VETERINARY PARASITOLOGY AND CONTROL STRATEGIES IN INDONESIAN AQUACULTURE SYSTEMS	Assoc. Prof. Dr. Dewi Kartika Slamet Riyadi
		3	VETERINARY IMMUNOLOGY APPROACHES FOR VACCINE DEVELOPMENT IN MOLDOVA LIVESTOCK	Dr. Elena Rusu
		4	MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN IRAQI POULTRY FARMS	Prof. Dr. Mustafa Al-Hakim Dr. Noor Al-Dulaimi
		5	CLINICAL MANAGEMENT OF INFECTIOUS DISEASES IN SMALL RUMINANTS IN IRAQI RURAL AREAS	Dr. Ahmed Al-Zubaidi Hassan Kareem Zainab Al-Fahdawi
		6	ANALYSIS OF DAIRY CATTLE HEALTH AND MILK QUALITY IN MOLDOVAN FARMS	Assoc. Prof. Dr. Ion Popescu Maria Lungu Andrei Ceban
		7	ADVANCES IN EQUINE MEDICINE AND PERFORMANCE MANAGEMENT IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Yerzhan Tolegenov Aida Sarsenova
		8	EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOO NOTIC DISEASE TRANSMISSION IN TROPICAL LIVESTOCK SYSTEMS IN INDONESIA	Prof. Dr. Budi Santoso Dr. Rina Prasetya Agus Wibowo

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Sami Trabelsi	1	SUSTAINABLE WATER DESALINATION SYSTEM DESIGN USING SOLAR ENERGY IN TUNISIAN COASTAL REGIONS	Amira Gharbi Dr. Youssef Khlifi
		2	SMART IRRIGATION CONTROL SYSTEMS BASED ON IOT TECHNOLOGIES FOR AGRICULTURAL OPTIMIZATION IN TUNISIA	Dr. Sami Trabelsi Nadia Ben Youssef
		3	ADVANCED STRUCTURAL HEALTH MONITORING USING SENSOR NETWORKS IN INDIAN INFRASTRUCTURE PROJECTS	Prof. Dr. Rajiv Menon Ankit Sharma Dr. Pooja Verma Rohit Kulkarni
		4	RENEWABLE ENERGY MICROGRID INTEGRATION FOR RURAL ELECTRIFICATION IN INDIA	Dr. Neha Iyer Vikram Desai
		5	DEVELOPMENT OF LOW-COST AIR QUALITY MONITORING DEVICES FOR URBAN ENVIRONMENTS IN VIETNAM	Assoc. Prof. Dr. Nguyen Van Hung Tran Thi Mai Le Quoc Bao
		6	APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN TRAFFIC FLOW OPTIMIZATION IN HO CHI MINH CITY Dr. Pham Duc Long	Nguyen Thi Hoa Vo Minh Tuan Le Anh Khoa
		7	DESIGN OF ENERGY-EFFICIENT BUILDING MATERIALS FOR TROPICAL CLIMATES IN VIETNAM	Prof. Dr. Tran Quang Huy Bui Thanh Son
		8	INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR TRAFFIC MANAGEMENT IN PAKISTANI MEGACITIES	Dr. Imran Qureshi Ali Raza Dr. Sana Iqbal
		9	AUTOMATION AND ROBOTICS APPLICATIONS IN TEXTILE INDUSTRY PROCESSES IN PAKISTAN	Assoc. Prof. Dr. Fahad Malik Hina Tariq Usman Khalid Ayesha Noor

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assoc. Prof. Dr. Goran Trajkov	1	SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN GEORGIAN EARTHQUAKE ZONES	Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri Nino Beridze Levan Kapanadze
		2	SUSTAINABLE BRIDGE DESIGN USING COMPOSITE MATERIALS IN GEORGIA'S MOUNTAINOUS REGIONS	Dr. Tamar Gelashvili Irakli Lomidze
		3	URBAN FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS AND DRAINAGE INFRASTRUCTURE IN MOROCCAN CITIES	Assoc. Prof. Dr. Hassan El Amrani Youssef Bakkali Fatima Zahra Idrissi
		4	APPLICATION OF GREEN CONCRETE TECHNOLOGIES IN MOROCCAN CONSTRUCTION INDUSTRY	Dr. Samira El Fassi Karim Alaoui
		5	STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEMS FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN NORTH MACEDONIA	Prof. Dr. Nikola Stojanov Elena Petrovska Marko Iliev
		6	GEOTECHNICAL ANALYSIS OF SOIL STABILITY IN ROAD CONSTRUCTION PROJECTS IN NORTH MACEDONIA	Assoc. Prof. Dr. Goran Trajkov Ana Dimitrova
		7	ENERGY-EFFICIENT BUILDING DESIGN APPROACHES IN URBAN AREAS OF NORTH MACEDONIA	Dr. Stefan Risteski Marija Nikolova Viktor Angelov Petar Kostov
		8	ADVANCED CONSTRUCTION MATERIALS FOR DESERT INFRASTRUCTURE IN ALGERIA	Nadia Cherifi Prof. Dr. Karim Bensalem
		9	SEISMIC RETROFITTING TECHNIQUES FOR HISTORICAL BUILDINGS IN ALGERIA	Dr. Yacine Haddad Amel Bouziane Rachid Touati

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES August 1 – 2, 2026 CORUM Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 1 Agustus / August 1, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Assoc. Prof. Dr. Sami Trabelsi	1	SUSTAINABLE DESERT AGRICULTURE PRACTICES USING SALINE WATER IRRIGATION IN QATAR	Prof. Dr. Khalid Al-Thani Dr. Mariam Al-Kuwari Fahad Al-Marri
		2	SMART GREENHOUSE TECHNOLOGIES FOR CLIMATE CONTROL AND WATER EFFICIENCY IN QATARI AGRICULTURE	Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Hajri Latifa Al-Sulaiti
		3	PRECISION FARMING APPROACHES FOR RICE PRODUCTION OPTIMIZATION IN INDONESIAN TROPICAL REGIONS	Dr. Agus Prasetyo Rina Wulandari Budi Santoso Siti Rahma
		4	AGROFORESTRY SYSTEMS AND THEIR ROLE IN BIODIVERSITY CONSERVATION IN INDONESIA	Prof. Dr. Made Sukarta Dewi Lestari
		5	SOIL FERTILITY MANAGEMENT AND ORGANIC AMENDMENTS IN TUNISIAN ARID LANDS	Dr. Hichem Ben Salah Amira Gharbi Youssef Kallel
		6	INTEGRATED PEST MANAGEMENT STRATEGIES FOR OLIVE CULTIVATION IN TUNISIA	Assoc. Prof. Dr. Sami Trabelsi Nadia Karray
		7	FOREST RESOURCE MANAGEMENT AND DESERTIFICATION CONTROL STRATEGIES IN ALGERIA	Prof. Dr. Karim Bensalem Nadia Zeroual
		8	APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES IN FOREST PLANNING AND MONITORING IN ALGERIAN LANDSCAPES	Assoc. Prof. Dr. Samir Belkadi Amine Touati Yacine Hamidi
		9	ECOLOGICAL RESTORATION OF DEGRADED FOREST AREAS IN NORTHERN ALGERIA THROUGH NATIVE SPECIES PLANTING	Dr. Rachid Meziane Fatima Benali



HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
HATTUSAS 4TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
August 1 – 2, 2026
CORUM



Contents

KÖPEKLERDE LEİSHMANİASİSİN PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ	1
KOYUNLARDA THEİLERİOSİS HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR.....	5
INTEGRATED PEST MANAGEMENT STRATEGIES FOR OLIVE CULTIVATION IN TUNISIA	9
FOREST RESOURCE MANAGEMENT AND DESERTIFICATION CONTROL STRATEGIES IN ALGERIA	10
APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES IN FOREST PLANNING AND MONITORING IN ALGERIAN LANDSCAPES	11
ECOLOGICAL RESTORATION OF DEGRADED FOREST AREAS IN NORTHERN ALGERIA THROUGH NATIVE SPECIES PLANTING	12
ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİNDE ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ MÜHENDİSLİĞİNİN TAMAMLAYICI ROLLERİ	13
HAVZA ÖLÇEĞİNDE ORMANSIZLAŞMANIN AKARSU EKOSİSTEMLERİ VE BALIK TOPLULUKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	27
PENETROMETER USE IN AGRICULTURE	40
PRUNING WASTE COMPOSTING: A COMPARATIVE REVIEW OF PROCESSES, PROPERTIES, AND APPLICATIONS.....	46
SİYAH ASKER SİNEĞİ (<i>Hermetia illucens</i> L.) GÜBRESİNİN FARKLI UYGULAMA DOZLARININ MARUL (<i>Lactuca sativa</i> L.) GELİŞİMİ VE BESİN ELEMENTİ ALINIMINA ETKİSİ.....	53
YAĞLI TOHURLU BİTKİLERDE GÖRÜLEN ÖNEMLİ BAKTERİYEL HASTALIKLAR.....	56
ACİL SERVİS HEMŞİRELERİNDE YORGUNLUK VE YORGUNLUĞU ETKİLEYEN FAKTÖRLER	66
MEME KORUYUCU CERRAHİ SONRASI HİPOFRAKSİYONE SOL MEME RADYOTERAPİSİNDE HİBRİT IMRT VE HİBRİT VMAT PLANLARININ DOZİMETRİK DEĞERLENDİRİLMESİ	76
GELECEĞİN EBELERİ VE HEMŞİRELERİNİ PREKONSEPSİYONEL BAKIMA HAZIRLAMAK: EĞİTİM, YETKİNLİK VE KLİNİK UYGULAMALARDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR	78
PREKONSEPSİYONEL BAKIMDA DÖNÜŞÜM: BİRİNCİ BASAMAK UYGULAMALARI VE KÜRESEL KANITLAR IŞIĞINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR	93
İÇECEK ENDÜSTRİSİNDE PARTİKÜL STABİLİTESİ: SEDİMENTASYON PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI.....	108
GÖĞÜS KANSERİ VERİ SETİ ÜZERİNDE GELENEKSEL VE GELİŞMİŞ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRMA PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	110
EVALUATING THE EFFECT OF ANNOTATION CONFIDENCE ON TRADITIONAL MACHINE LEARNING FOR HATE SPEECH DETECTION	124
MISIR TARLALARINDA YABANCI OT TESPİTİ İÇİN DERİN ÖĞRENME TABANLI NESNE TESPİT MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ.....	132
DİYABET TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ VE LIME TABANLI AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKÂ YAKLAŞIMI	147
SAFRA TAŞI HASTALIĞININ ERKEN TAHMİNİ İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: KAN VE SUPERLEARNER YAKLAŞIMLARI	157

ORGANİK BOYALI GÖZLÜK MERCEKLERİNDE UV KESİM DALGA BOYUNUN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ.....	179
İNSAN KAYNAKLARI ANALİTİĞİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI KARAR DESTEK SİSTEMLERİNE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE	181
COMPARISON OF AIR POLLUTION CHARACTERISTICS OF SAMSUN AND BAGHDAD	195
OVERCOMING THE HESITATION TOWARDS EFFECTIVE CCS ADOPTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ECONOMIC BARRIERS AND THE DE-RISKING POTENTIAL OF CARBON UTILIZATION	204
BANDIRMA LİMANI'NDA FOTOVOLTAİK ENTEGRASYONU: DÖKME YÜK ODAKLI BİR YEŞİL LİMAN İÇİN TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME	214
VISUAL QUALITY ASSESSMENT OF A SCENIC ROAD: THE HOPA-KOPMUŞ CASE	224
ASSESSMENT OF THE RECREATIONAL POTENTIAL OF A FOREST ROAD AND ITS SURROUNDINGS: THE HOPA-KOPMUŞ (ARTVİN) EXAMPLE	237
SOLVOTHERMALLY SYNTHESIZED INDIUM GALLIUM ZINC OXIDE (IGZO) FOR HIGH-PERFORMANCE SELF-POWERED UV-VISIBLE PHOTODETECTORS.....	245
OTOMOBİL HIZ KONTROL SİSTEMİ İÇİN FDB-SFS ALGORİTMASI VE BODE İDEAL REFERANS MODELİ TABANLI PID DENETLEYİCİ TASARIMI.....	261
GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİNİN GÜÇ AKIŞI VE KAYIPLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ	274
AYAKKABI ENDÜSTRİSİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN MODÜLER TASARIM VE EKLEMELİ İMALAT YAKLAŞIMLARI.....	286
BİYOBAZLI AYAKKABI SAYA MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL VE TEKNİK PERFORMANS ANALİZİ	296
INFLUENCE OF THREE DEEP EUTECTIC SOLVENT SYSTEMS ON THE PHENOLIC AND FLAVONOID CONTENTS, ANTIOXIDANT AND ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF <i>SINAPIS ALBA</i> FLOWER EXTRACTS	307
ASSESSING THE IMPACT OF PRIMARY HEALTHCARE REFORMS ON RURAL POPULATION HEALTH OUTCOMES IN KAZAKHSTAN.....	321
MATERNAL AND CHILD HEALTH IMPROVEMENT STRATEGIES IN SEMI-URBAN REGIONS OF KAZAKHSTAN	322
NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND PUBLIC HEALTH INTERVENTIONS AMONG CHILDREN IN ETHIOPIAN COMMUNITIES.....	323
EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASE SPREAD IN RURAL ETHIOPIA	324
THE ROLE OF TELEMEDICINE IN IMPROVING HEALTHCARE ACCESS IN RURAL TAIWAN	325
ADVANCES IN CANCER DIAGNOSTICS USING AI-BASED IMAGING TECHNOLOGIES IN TAIWAN	326
MENTAL HEALTH AWARENESS AND COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN TAIWANESE YOUTH.....	327
PUBLIC HEALTH POLICY REFORMS AND THEIR IMPACT ON URBAN HEALTH SYSTEMS IN AZERBAIJAN	328
ENVIRONMENTAL HEALTH RISKS AND AIR POLLUTION EFFECTS IN INDUSTRIAL REGIONS OF AZERBAIJAN	329
PARASITIC INFECTIONS AND THEIR IMPACT ON SHEEP PRODUCTION IN MOLDOVAN AGRICULTURE .	330
VETERINARY PARASITOLOGY AND CONTROL STRATEGIES IN INDONESIAN AQUACULTURE SYSTEMS..	331
VETERINARY IMMUNOLOGY APPROACHES FOR VACCINE DEVELOPMENT IN MOLDOVA LIVESTOCK..	332

MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN IRAQI POULTRY FARMS.....	333
CLINICAL MANAGEMENT OF INFECTIOUS DISEASES IN SMALL RUMINANTS IN IRAQI RURAL AREAS..	334
ANALYSIS OF DAIRY CATTLE HEALTH AND MILK QUALITY IN MOLDOVAN FARMS.....	335
ADVANCES IN EQUINE MEDICINE AND PERFORMANCE MANAGEMENT IN KAZAKHSTAN.....	336
EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOO NOTIC DISEASE TRANSMISSION IN TROPICAL LIVESTOCK SYSTEMS IN INDONESIA	337
SUSTAINABLE WATER DESALINATION SYSTEM DESIGN USING SOLAR ENERGY IN TUNISIAN COASTAL REGIONS	338
SMART IRRIGATION CONTROL SYSTEMS BASED ON IOT TECHNOLOGIES FOR AGRICULTURAL OPTIMIZATION IN TUNISIA.....	339
ADVANCED STRUCTURAL HEALTH MONITORING USING SENSOR NETWORKS IN INDIAN INFRASTRUCTURE PROJECTS.....	340
RENEWABLE ENERGY MICROGRID INTEGRATION FOR RURAL ELECTRIFICATION IN INDIA	341
DEVELOPMENT OF LOW-COST AIR QUALITY MONITORING DEVICES FOR URBAN ENVIRONMENTS IN VIETNAM.....	342
APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN TRAFFIC FLOW OPTIMIZATION IN HO CHI MINH CITY	343
DESIGN OF ENERGY-EFFICIENT BUILDING MATERIALS FOR TROPICAL CLIMATES IN VIETNAM.....	344
INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR TRAFFIC MANAGEMENT IN PAKISTANI MEGACITIES ..	345
AUTOMATION AND ROBOTICS APPLICATIONS IN TEXTILE INDUSTRY PROCESSES IN PAKISTAN	346
SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN GEORGIAN EARTHQUAKE ZONES	347
SUSTAINABLE BRIDGE DESIGN USING COMPOSITE MATERIALS IN GEORGIA'S MOUNTAINOUS REGIONS	348
URBAN FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS AND DRAINAGE INFRASTRUCTURE IN MOROCCAN CITIES .	349
APPLICATION OF GREEN CONCRETE TECHNOLOGIES IN MOROCCAN CONSTRUCTION INDUSTRY.....	350
STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEMS FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN NORTH MACEDONIA...	351
GEOTECHNICAL ANALYSIS OF SOIL STABILITY IN ROAD CONSTRUCTION PROJECTS IN NORTH MACEDONIA	352
ENERGY-EFFICIENT BUILDING DESIGN APPROACHES IN URBAN AREAS OF NORTH MACEDONIA.....	353
ADVANCED CONSTRUCTION MATERIALS FOR DESERT INFRASTRUCTURE IN ALGERIA	354
SEISMIC RETROFITTING TECHNIQUES FOR HISTORICAL BUILDINGS IN ALGERIA	355
SMART GREENHOUSE TECHNOLOGIES FOR CLIMATE CONTROL AND WATER EFFICIENCY IN QATARI AGRICULTURE	356
PRECISION FARMING APPROACHES FOR RICE PRODUCTION OPTIMIZATION IN INDONESIAN TROPICAL REGIONS	357
AGROFORESTRY SYSTEMS AND THEIR ROLE IN BIODIVERSITY CONSERVATION IN INDONESIA.....	358
SOIL FERTILITY MANAGEMENT AND ORGANIC AMENDMENTS IN TUNISIAN ARID LANDS	359

HATTUSAS 4th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
AUGUST 1 – 2, 2026 - CORUM
ISBN NR. : 978-625-8795-35-6

TAVUKLARDA BOYUN BÖLGESİNDEKİ ANA DAMARLARIN (ARTERIA CAROTIS ve VENA JUGULARIS) MAKROANATOMİK İNCELENMESİ ve KESİM NOKTALARININ TESPİTİ	360
KOYUN AKCİĞERLERİNDE BRONŞ AĞACININ KOROZYON KAST TEKNİĞİ İLE ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ	367
KOYUN RUMEN MUKOZASINDAKİ PAPİLLALARIN FARKLI KÖR KESELERDE (SACCI) MAKROSKOBİK OLARAK HARİTALANMASI VE YOĞUNLUK HESABI	376
FORECASTING THE BIST 100 INDEX USING PSO-TRAINED DENDRITIC NEURON MODELS: A COMPARISON OF CAUCHY AND SIGMOID ACTIVATION FUNCTIONS.....	389

KÖPEKLERDE LEISHMANİASİSİN PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. NİHAT YUMUŞAK

Harran Üniversitesi,

nihatyumusak@harran.edu.tr - 0000-0002-9299-2902

ÖZET

Leishmaniasis, *Leishmania* türleri tarafından oluşturulan ve flebotom türü kum sinekleri aracılığıyla bulaşan önemli bir zoonotik hastalıktır. Köpekler, hastalığın başlıca rezervuar konaklarından biri olup enfeksiyon; deri, lenf düğümleri ve dalak başta olmak üzere çeşitli bir çok organlarda hasara yol açabilmektedir. Bu çalışmada, köpeklerde leishmaniasise bağlı gelişen patomorfolojik değişikliklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Makroskopik incelemelerde; tüy dökülmesi, ishal, konjunktivitis, hiperkeratotik lezyonlar, mukokütanöz ülserasyon, nazal bölgede eroziv lezyonlar, lenfadenomegali, nazal planumda şiddetli ülserasyon, epistaksis, hepatosplenomegali ve püstüler dermatit görülür. Mikroskobik incelemede ise inflamasyon, hücresel dejenerasyon, nekroz ve mononükleer hücre infiltrasyonu görülür. Lenfoid dokulardaki değişiklikler başlıca lenf düğümleri ve dalakta belirlenirken, karaciğer ve böbreklerde dejeneratif ve inflamatuvar lezyonlar görülür. Leishmaniasisin çok sayıda organı etkileyen sistemik bir hastalık olduğunu ortaya konmuş ve histopatolojik incelemenin hastalığın tanısı, patomorfolojik değişikliklerin değerlendirilmesi ve doku lezyonlarının karakterizasyonunda önemli bir tanısal yöntem olduğu kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Leishmaniasis, köpek, patomorfoloji

KÖPEKLERDE LEİSHMANİASİSİN PATOMORFOLOJİK DEĞERLENDİRİLMESİ

1. ETİYOLOJİ VE BULAŞMA

Leishmaniasis, Leishmania cinsi zorunlu hücre içi çoğalan parazitler tarafından oluşturulan zoonoz bir hastalıktır. Hastalık dünyanın birçok bölgesinde özellikle tropikal iklimin hakim olduğu bölgelerde yaşayan köpeklerde karşılaşılan. Hastalığın oluşmasında kötü hijyenik koşullar ve yetersiz beslenme önemli bir yer alır. Bulaşma *Kum sinekleri tarafında kan emme sırasında olmaktadır. Tropikal iklimlerde yıl boyu aktif olan bu sinekler yaz aylarında daha sık hastalığa neden olurlar.* Hastalık ayrıca enfekte anneden yavruya kongenital yolla aktarılabilir. Ayrıca hastalık kan nakli ve yakın temas yoluyla da bulaşabilmektedir (1-10).

2. KLİNİK BULGULAR

Etkenin yerleştiği yere göre deri, göz ve sinir sistemine ait bulguların oluşmasına neden olur. Kilo kaybı, iştahsızlık, kanlı idrar, sık idrar yapma, kusma, tüylerde dökülme, kanlı ishal, pıhtılaşma bozukluğu, hareketsizlik ve mukozalarda solgunluk görülür (5-12).

3. PATOLOJİK BULGULAR

Burun ve ağız çevresinde, skrotumda yüzeyi irinli olabilen ülseratif lezyonlar görülür. Bu lezyonlar parazitin ilk girdiği bölgede yangısal reaksiyona bağlı oluşur. Deri hiperkeratoza uğramış, solgun renkte ve elastikiyetini kaybetmiştir. Bölgedeki kıllarda dökülmeler ve ağarma görülür. Ağız ve burun çevresindeki lezyonlar ise çoğunlukla yuvarlak şekilli ülseratif tarzıdır. Histolojik olarak, yangısal hücre infiltrasyonları görülür. Ülseratif deri lezyonlarda hastalık için patognomik olarak yoğun makrofaj birikimi vardır. Perivasküler bölgelerde ve kıl foliküllerinin çevrelerinde yoğun nötrofil, eosinofil, mast hücresi ve lenfosit infiltrasyonları vardır (5-20).

4. TANI

Hastalığın tanısı, Biyopsi, swap, moleküler yöntemlerden rt-PCR, conventional-PCR, sitopatoloji, histopatoloji, immunohistokimya, serolojik testler, ELISA ve agarlı besi yerlerinde kültür ekimi ile yapılır (14-20).

5. TEDAVİ

Tedavi amacıyla antiparaziter ilaçlar kullanılır. Bu amaçla **Marbofloxacin**, Miltefosine, Domperidone, Paromomycin, Aminosidine ve Allopurinol kullanılabilir. Ayrıca Amphotericin B ve immunoterapitik ilaçlarda destekleyici amaçlı kullanılabilir (20-23).

KAYNAKÇA

- [1] Morales-Yuste, M., Martín-Sánchez, J., Corpas-Lopez, V. Canine leishmaniasis: update on epidemiology, diagnosis, treatment, and prevention. Veterinary Sciences, 9, 8, 2022.

- [2] Alvar, J., Cañavate, C., Molina, R., Moreno, J., Nieto, J. Canine Leishmaniasis. *Adv. Parasitol.* 57, 2004.
- [3] Quinnell, R.J., Courtenay, O. Transmission, Reservoir Hosts and Control of Zoonotic Visceral Leishmaniasis. *Parasitology*, 136, 2009.
- [4] Paltrinieri, Saverio, et al. Guidelines for diagnosis and clinical classification of leishmaniasis in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 236, 11, 2010.
- [5] Saridomichelakis, Manolis N., et al. "World Association for Veterinary Dermatology Consensus Statement for diagnosis, and evidence-based clinical practice guidelines for treatment and prevention of canine leishmaniosis." *Veterinary Dermatology* 36, 6, 2025.
- [6] Baneth, G.; Nachum-Biala, Y., Adamsky, O., Gunther, I. Leishmania Tropica and Leishmania infantum Infection in Dogs and Cats in Central Israel. *Parasit. Vectors*, 15, 2022.
- [7] Jambulingam, P., Pradeep Kumar, N.; Nandakumar, S.; Paily, K.P.; Srinivasan, R. Domestic Dogs as Reservoir Hosts for Leishmania Donovanii in the Southernmost Western Ghats in India. *Acta Trop.* 171, 2017.
- [8] Solano-Gallego L, Cardoso L, Pennisi MG, et al. Diagnostic challenges in the era of canine Leishmania infantum vaccines. *Trends Parasitol.* 33, 9, 2017.
- [9] Morales-Yuste, M.; Morillas-Márquez, F.; Díaz-Sáez, V.; Barón-López, S.; Acedo-Sánchez, C.; Martín-Sánchez, J. Epidemiological Implications of the Use of Various Methods for the Diagnosis of Canine Leishmaniasis in Dogs with Different Characteristics and in Differing Prevalence Scenarios. *Parasitol. Res.* 111, 2012.
- [10] Sáez, V.D., Morillas-Márquez, F., Merino-Espinosa, G., Corpas-López, V., Morales-Yuste, M., Pesson, B., Barón-López, S., Lucientes-Curdi, J., Martín-Sánchez, J. Phlebotomus Langeroni Nitzulescu (Diptera, Psychodidae) a New Vector for Leishmania infantum in Europe. *Parasitol. Res.* 117, 2018.
- [11] Koutinas, A.F.; Koutinas, C.K. Pathologic Mechanisms Underlying the Clinical Findings in Canine Leishmaniasis Due to Leishmania infantum/Chagasi. *Vet. Pathol.* 51, 2014.
- [12] Peña, M. T., Roura, X., Davidson, M. G. Ocular and periocular manifestations of leishmaniasis in dogs: 105 cases (1993–1998). *Veterinary Ophthalmology*, 3, 1, 2000.
- [13] Rallis, T., Day, M.J., Saridomichelakis, M.N., Adamama-Moraitou, K.K., Papazoglou, L., Fytianou, A., Koutinas, A.F. Chronic Hepatitis Associated with Canine Leishmaniosis (Leishmania infantum): A Clinicopathological Study of 26 Cases. *J. Comp. Pathol.* 131, 2005.

- [14] Toplu N, Aydogan A. An immunohistochemical study in cases with usual and unusual clinicopathological findings of canine visceral leishmaniosis. *Parasitol Res.* 109, 2011.
- [15] dos Santos JP, Alves LC, Ramos RA, et al. Histological changes and immunolabeling of *Leishmania infantum* in kidneys and urinary bladder of dogs. *Rev Bras Parasitol Vet.* 22, 2013.
- [16] Paltrinieri, S., Gradoni, L., Roura, X., Zatelli, A., & Zini, E. Laboratory tests for diagnosing and monitoring canine leishmaniasis. *veterinary clinical pathology*, 45, 4, 2016.
- [17] Lima, I.S., Solcá, M.S., Tafuri, W.L., Dos-Santos, W.L.C., De Freitas, L.A.R. Assessment of Histological Liver Alterations in Dogs Naturally Infected with *Leishmania infantum*. *Parasites Vectors*, 12, 2019.
- [18] Dos Santos, F.R., Vieira, P.M.A., Correa-Oliveira, R., Giunchetti, R.C., Carneiro, C.M., Reis, A.B., Malaquias, L.C.C. Qualitative and Quantitative Immunohistochemical Evaluation of INOS Expression in the Spleen of Dogs Naturally Infected with *Leishmania Chagasi*. *Parasitol. Res.* 108, 2011.
- [19] Baneth, G.; Aroch, I. Canine Leishmaniasis: A Diagnostic and Clinical Challenge. *Vet. J.* 175, 2008.
- [20] Lombardo, G., Pennisi, M.G., Lupo, T., Migliazzo, A., Caprì, A., Solano-Gallego, L. Detection of *Leishmania infantum* DNA by Real-Time PCR in Canine Oral and Conjunctival Swabs and Comparison with Other Diagnostic Techniques. *Vet. Parasitol.* 184, 2012.
- [21] Belinchón-Lorenzo, S., Iniesta, V., Parejo, J.C., Fernández-Cotrino, J., Muñoz-Madrid, R., Soto, M., Alonso, C., Gómez Nieto, L.C. Detection of *Leishmania infantum* Kinetoplast Minicircle DNA by Real Time PCR in Hair of Dogs with Leishmaniosis. *Vet. Parasitol.* 192, 2013.
- [22] Baxarias M, Donato G, Mateu C, et al. [A blinded, randomized and controlled multicenter clinical trial to assess the efficacy and safety of Leisguard as an immunotherapeutic treatment for healthy *Leishmania infantum*-seropositive dogs.](#) *Parasit Vectors.* 16,1, 2023.
- [23] Solano-Gallego, L.; Koutinas, A.; Miró, G.; Cardoso, L.; Pennisi, M.G.; Ferrer, L.; Bourdeau, P.; Oliva, G.; Baneth, G. Directions for the Diagnosis, Clinical Staging, Treatment and Prevention of Canine Leishmaniosis. *Vet. Parasitol.* 165, 1, 2009.

KOYUNLARDA THEİLERİOSİS HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR

Dr. NİHAT YUMUŞAK

Harran Üniversitesi,
nihatyumusak@harran.edu.tr - 0000-0002-9299-2902

ÖZET

Theileria türü parazitlerin neden olduğu ve *Rhipicephalus* ve *Hyalomma* gibi kene türleri tarafından kan emme sırasında bulaştırılan önemli bir enfeksiyöz hastalıktır. Hastalık, koyunlarda anemiye yol açar. Bu çalışmada, koyunlarda theileriose bağlı oluşan doku hasarlarının patomorfolojik olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Klinik olarak, etkilenen hayvanlarda mukoz membranlarda solgunluk, ileri veya ağır olgularda ikterus, zaman zaman hemorajik karakter gösterebilen diyare, lenfadenomegali, halsizlik, hemoglobini ve taşipne ile karakterize bulgular görülür. Makroskobik olarak; şiddetli anemi ile uyumlu belirgin mukoz membran solgunluğu, generalize ikterus, vasküler konjesyon, mukozal yüzeylerde multifokal peteşiyal kanamalar, subkutan ödem, serebral ödem, pulmoner ödem, interstisyel pnömoni, böbreklerde multifokal ve soluk nekrotik odaklar görülebilir. Mikroskobik incelemede ise farklı organlarda hiperemi, hemoraji, hücresel nekroz, dejenerasyon ve yangı hücre infiltrasyonu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, theileriosisin sistemik bir hastalık olduğunu ortaya koymakta doku hasarının değerlendirilmesinde ve hastalığın tanısının desteklenmesinde önemli yaklaşım olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Theileriosis, Koyun, Patomorfoloji

KOYUNLARDA THEİLERİOSİS HASTALIĞINDA PATOLOJİK BULGULAR

1. GİRİŞ

Theileria dünyanın birçok bölgesinde evcil ve yaban hayvanlarda önemli ekonomik kayıplarla seyreden protoozon bir hastalıktır. Hastalık evcil hayvanlarda süt veriminde azalma ve kilo kaybı gibi önemli ekonomik kayıplara yol açmakla birlikte yüksek ölümle sonuçlanarak hayvan kaybına neden olur (1-7).

2. ETİYOPATOGENEZ

Hastalık etkeni kan hücrelerine yerleşen Theileria cinsi protoozonlardır. Yaygın olarak görülen türleri *T. annulata*, *T. ovis* ve *T. Lestoquard*dir. Hastalık etkenleri ixodes türü keneler aracılığıyla bulaşır. Kenenin tükrük bezinde sporozoid formu bulan parazit kenenin kan emmesi ile konağın kan hücrelerine gider. Kan hücrelerine yerleşen etken sizont formuna dönüşür. Hücre sitoplazmasında çoğalan parazitler merozoit formunda hücreyi parçalayarak dışarı çıkar. Daha sonra bu merozoitler eritrositleri enfekte ederek eritrositler içerisinde proplazm formuna dönüşürler (1-9).

3. KLİNİK BULGULAR

Hastalıkta görülen başlıca klinik bulgular şiddetli anemi ve ikterus tablosudur. Anemi tablosu konjunktiva ve mukozalarda oldukça belirgindir. Ayrıca sistemik olarak, yüksek ateş, halsizlik, hastalığın başlangıcında normal yeme daha sonra iştahsızlık tablosuna dönüşür, solunum güçlüğü, zayıflama, gözyaşı akıntısı, özellikle preskapular lenf yumrularında şişkinlik, bazen kanlı olan ishal ve kanlı idrar görülür. Hastalığın ilerlemesiyle zayıflayan hayvan 4-5 gün içerisinde ölür (5-9).

4. PATOLOJİK BULGULAR

Makroskobik olarak, kadavranın genel olarak şiddetli anemik ve ikterik olduğu görülür. Deri altında ve kaslarda şiddetli ödeme görülebilir. Lenf yumrularında ve dalakta şiddetli büyüme vardır. Karaciğer sarımsı renkte olup şişkin görünüştedir. Böbreklerde peteşiyal kanama alanları ile birlikte gri-beyaz yangı odakları görülür. Göğüs boşluğunda farklı miktarda sıvı birikimi görülebilir. Akciğerler ödemli ve yer yer peteşiyal kanamalar vardır. Özellikle abomazum ve kalın bağırsaklar açıldığında mukozalarda şiddetli ülserasyonlar ve kanamalar görülür (7-18).

Mikroskobik olarak, lenf yumrularında şiddetli hiperplazi vardır. Foliküllerde lenfosit ve makrofaj proliferasyonları vardır. Akciğerlerde damarlarda dolgunluk, bronş ve alveol lümenlerinde yangısal hücre birikimleri ve yer yer amfizem görülür. Karaciğer sinüsoidlerinde genişleme ve konjesyon vardır. Portal aralıklarda ve vena sentralisin çevresinde yangısal hücre proliferasyonları görülür. Hepatosit sitoplazmalarında vakuolleşme ve dejenerasyonlar görülür. Böbreklerde ise intersitisyel alanlarda öbekler şeklinde yangısal hücre birikimleri görülür. Bu alanların çevresindeki tubullerde ise dejeneratif değişiklikler gözlemlenebilir (7-18).

KAYNAKÇA

[1] Malladi, A. Review on small ruminant theileriosis. Sci World, 4, 2024.

- [2] Ahmed, J., Yin, H., Bakheit, M., Liu, Z., Mehlhorn, H. & Seitzer, U. Small Ruminant Theileriosis. Progress in Parasitology, 2011.
- [3] Altay, K., Dumanlı, N. & Aktas, M. A study on ovine tick-borne hemoprotozoan parasites (Theileria and Babesia) in the East Black Sea Region of Turkey. Parasitology Research, 111, 2012.
- [4] Altay, K., Aktas, M. and Dumanli, N. Theileria Infections in Small Ruminants in the East and Southeast Anatolia Türkiye Parazitoloji Dergisi, 31, 2007.
- [5] Yuan, Y., Li, Y., Liu, Z., Yang, J., Chen, Z., Guan, G., Luo, J. & Yin, H. Epidemiological investigation of theileriosis in goats and sheep in southern China. *Chinese Veterinary Science*, 06, 2013.
- [6] Zhao L, Wang J, Ding Y, Li K, He B, Li F, Zhang L, Li X, Liu Y. Theileria ovis (Piroplasmida: Theileriidae) detected in melophagus ovinus (Diptera: Hippoboscoidea) and ornithodoros lahorensis (Ixodida: Argasidae) removed from sheep in Xinjiang, China. J. Med. Entomol., 1915, 10, 2019.
- [7] Altay K, Dumanli N, Patricia J, Holman B, Aktas M. Detection of Theileria ovis in naturally infected sheep by nested PCR. Vet. Parasitol., 127, 2005.
- [8] Minnat TR, Abdulwadood I. Study of clinical, hematological and serological diagnosis of ovine theileriosis in Basrah province. Basra J. Vet. Res., 11, 4, 2012.
- [9] Zhang X, Liu Z, Yang J, Chen Z, Guan G, Ren Q, Liu A, Luo J, Yin H, Li Y. Multiplex PCR for diagnosis of Theileria uilenbergi, Theileria luwenshuni, and Theileria ovis in small ruminants. Parasitol. Res., 113, 2, 2014.
- [10] Moudgil, P., Grakh, K., Kumar, R., Sharma, M., Gupta, R., & Jindal, N. First molecular confirmed outbreak of malignant ovine theileriosis in sheep from north india. Acta Parasitologica, 68, 3, 2023.
- [11] Al-Saadi, M. Quantification of acute and chronic theileriosis in sheep by quantitative PCR (qPCR). Archives of Razi Institute, 78, 1, 2023.
- [12] Kumar, R., Moudgil, P., Gupta, R., Jhandai, P., Sharma, M., & Jindal, N. Molecular investigations on outbreaks of ovine theileriosis among sheep and goats in Haryana, India. Tropical Animal Health and Production, 54, 6, 2022.
- [13] El Imam, A. H., Gameel, A. A., Hassan, S. M., El Hussein, A. M., & Taha, K. M. Macroscopic and microscopic findings in Theileria lestoquardi naturally infecting Sudanese sheep. Jordan J Biol Sci, 9, 1, 2016.
- [14] Akhter, W., Aslam, A., Rehman, M. U., Rehman, H. U., Rashid, I., & Akhtar, R. Comparative pathological changes in sheep infected with Theileria annulata and non-infected control. Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society, 68, 4, 2018.
- [15] Karatepe, B., Özübek, S., Karatepe, M., & Aktaş, M. Detection of Theileria and Babesia species in sheep and goats by microscopy and molecular methods in Nigde province, Turkey. Revue de Medecine Veterinaire, 7, 170, 2019.
- [16] Eliwa, M., Mahran, K. M. A., Mousa, W. A., Hagag, N., Shaalan, M. I., & Bashandy, M. M. Ovine theileriosis: Clinical, pathological and molecular investigations. Adv. Anim. Vet. Sci, 9, 4, 2021.

- [17] Fadel NGM, El-Refai MA, Wahba AA, Shaker MHM, Elebeedy AA, Hafez MA, Harba SAR (2010). Survey on parasitic diseases of sheep and goats and the related clinicopathological changes in east –south of Egypt. Egypt. J. Appl. Sci., 25,5, 2010.
- [18] Omer, O.H., Haroun, E.M., Mahmoud, O.M., Abdel-Magiet, E.M., El-Malik, K.H., Magzoub, M., 2003. Parasitological and clinico–pathological profiles in friesian cattle naturally infected with *Theileria annulata* in Saudi Arabia. Journal of Veterinary Medicine B 50, 2003.

INTEGRATED PEST MANAGEMENT STRATEGIES FOR OLIVE CULTIVATION IN TUNISIA

Assoc. Prof. Dr. Sami Trabelsi, Nadia Karray
Faculty of Agriculture, University of Carthage, Tunisia

ABSTRACT

This study examines integrated pest management strategies for olive cultivation in Tunisia, where olive production is a key agricultural sector and a major source of rural income. Pest pressure, pesticide overuse, and environmental concerns highlight the need for more sustainable pest control approaches. The research explores how integrated methods can reduce chemical dependency while maintaining crop quality.

The study is based on pest management and horticultural science literature. It focuses on biological control, cultural practices, monitoring systems, and selective pesticide use as components of integrated pest management. The findings suggest that these strategies can effectively manage pest populations, reduce environmental impact, and improve farmer decision-making. The study also emphasizes the role of extension services and farmer training.

The paper argues that integrated pest management should be promoted through policy support, research investment, and market incentives. In Tunisia, these approaches can enhance the sustainability and competitiveness of olive production. The study concludes that integrated pest management offers a practical framework for balancing productivity and environmental responsibility.

Key words: integrated pest management, olive cultivation, Tunisia, sustainable agriculture, biological control

FOREST RESOURCE MANAGEMENT AND DESERTIFICATION CONTROL STRATEGIES IN ALGERIA

Prof. Dr. Karim Bensalem, Nadia Zeroual

Faculty of Forestry, University of Tizi Ouzou, Algeria

ABSTRACT

This study investigates forest resource management and desertification control strategies in Algeria, where land degradation, drought, and unsustainable land use threaten forest ecosystems and rural livelihoods. Effective forest management is essential for maintaining ecological balance, preventing soil erosion, and supporting local communities. The research explores how policy and practice can address desertification risks.

The study is grounded in forestry and environmental management literature. It examines strategies such as reforestation, grazing control, fire prevention, and community-based forest management. The findings suggest that integrated approaches combining ecological restoration with socioeconomic support are more effective than isolated technical measures. The study also highlights the importance of legal frameworks and institutional coordination.

The paper argues that forest resource management should be linked to broader land-use planning and rural development policies. In Algeria, sustainable forest management can contribute to climate adaptation and poverty reduction. The study concludes that coordinated action is needed to protect forest resources and combat desertification in vulnerable regions.

Key words: forest management, desertification control, Algeria, land degradation, sustainable forestry

APPLICATION OF GIS TECHNOLOGIES IN FOREST PLANNING AND MONITORING IN ALGERIAN LANDSCAPES

Assoc. Prof. Dr. Samir Belkadi, Amine Touati, Yacine Hamidi

Faculty of Forestry, University of Blida, Algeria

ABSTRACT

This study examines the application of GIS technologies in forest planning and monitoring in Algerian landscapes, where spatial data, remote sensing, and geographic analysis can improve decision-making in forest management. GIS tools enable more accurate mapping, change detection, and resource assessment, supporting sustainable forestry practices. The research explores how these technologies enhance planning efficiency and monitoring capacity.

The study is based on geospatial science and forest management literature. It focuses on the use of satellite imagery, digital mapping, and spatial analysis for tracking forest cover, identifying degradation, and planning interventions. The findings suggest that GIS technologies can improve the accuracy of forest inventories, support fire risk assessment, and facilitate land-use planning. The study also notes the importance of data availability and technical training.

The paper argues that GIS should be integrated into national forest management frameworks to support evidence-based planning. In Algeria, these tools can strengthen institutional capacity and improve transparency in forest governance. The study concludes that GIS technologies offer valuable support for sustainable forest planning and monitoring.

Key words: GIS technologies, forest planning, Algeria, remote sensing, forest monitoring

ECOLOGICAL RESTORATION OF DEGRADED FOREST AREAS IN NORTHERN ALGERIA THROUGH NATIVE SPECIES PLANTING

Dr. Rachid Meziane, Fatima Benali

Faculty of Forestry, University of Annaba, Algeria

ABSTRACT

This study investigates the ecological restoration of degraded forest areas in northern Algeria through native species planting, where deforestation, overgrazing, and fire have reduced forest cover and biodiversity. Restoration using indigenous tree species can help reestablish ecological functions, improve soil stability, and support local wildlife. The research explores how native species selection and planting strategies contribute to successful restoration.

The study is based on restoration ecology and forestry literature. It examines the advantages of native species in terms of adaptation, resilience, and compatibility with local ecosystems. The findings suggest that native species planting can enhance survival rates, reduce maintenance needs, and promote long-term ecological recovery. The study also highlights the role of community involvement and post-planting care.

The paper argues that ecological restoration should prioritize native biodiversity and local ecological knowledge. In northern Algeria, restoration efforts can contribute to landscape recovery and climate resilience. The study concludes that native species planting offers a sustainable and ecologically sound approach to restoring degraded forest areas.

Key words: ecological restoration, native species, degraded forests, Algeria, reforestation

ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİNDE ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ MÜHENDİSLİĞİNİN TAMAMLAYICI ROLLERİ

Dr. Mustafa İlker SÜRER

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

E mail: misurer@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2735-9545

Prof. Dr. Nilüfer YAZICI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

E mail: niluferyazici@isparta.edu.tr, Orcid: 0000-0002-4397-5639

ÖZET

Entegre havza yönetimi, hidrolojik süreçler, karasal ekosistemler ve sucul habitatlar arasındaki etkileşimleri bütüncül bir yaklaşımla ele alarak doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimini amaçlamaktadır. İklim değişikliği, arazi kullanımındaki dönüşümler, nüfus artışı ve antropojenik baskılar, havza ekosistemlerinin işleyişini etkileyerek su kaynaklarının korunmasına yönelik disiplinler arası yaklaşımları zorunlu kılmaktadır.

Bu kapsamda orman ve su ürünleri mühendisliği, havza ölçeğinde birbirini tamamlayan ekolojik süreçlerin yönetiminde kritik roller üstlenmektedir. Orman ekosistemleri; yağışın tutulması, yüzey akışının düzenlenmesi, toprak ve su kaynaklarının korunması ile erozyon ve sediment taşınımının azaltılması yoluyla havza hidrolojisinin sürdürülebilirliğine katkı sağlamaktadır. Su ürünleri mühendisliği ise sucul ekosistemlerin ekolojik bütünlüğünün korunması, su kalitesinin izlenmesi, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilir yönetimi ve sucul kaynakların etkin kullanımına yönelik bilimsel yaklaşımlar geliştirmektedir.

Bu çalışmada, entegre havza yönetimi perspektifinden orman ve su ürünleri mühendisliği disiplinlerinin kesişim alanları değerlendirilmekte; havza planlama ve yönetim süreçlerinde ekosistem temelli, disiplinler arası ve bütüncül yaklaşımların önemi ortaya konulmaktadır. Orman ve sucul ekosistemler arasındaki etkileşimlerin yönetim süreçlerine etkin biçimde entegre edilmesinin, su kaynaklarının korunması, ekolojik sürdürülebilirliğin güçlendirilmesi ve iklim değişikliğinin etkilerine karşı havzaların uyum kapasitesinin artırılmasına önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

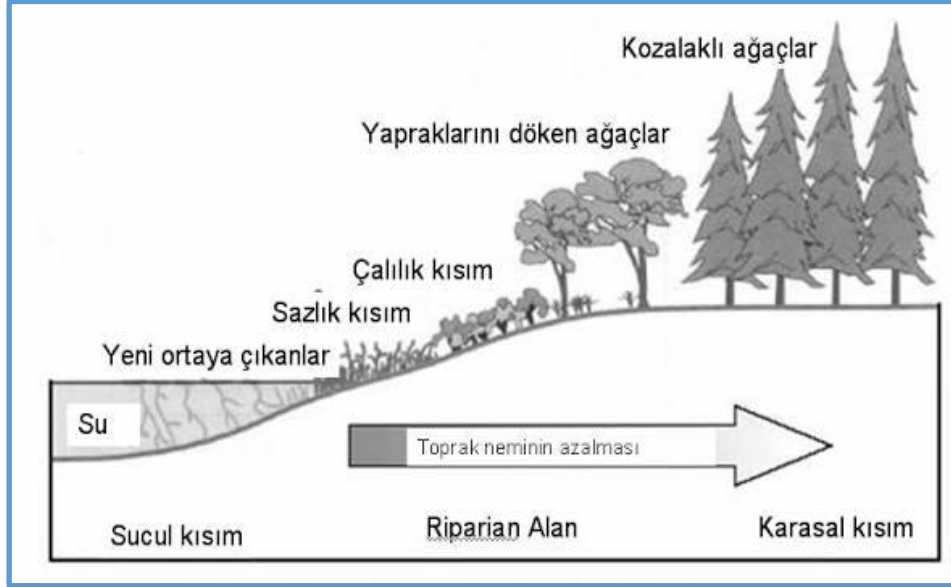
Anahtar kelimeler: Entegre havza yönetimi, orman ekosistemleri, ekosistem hizmetleri, sürdürülebilir su yönetimi.

1. GİRİŞ

Su, yaşamın devamlılığını sağlayan en temel doğal kaynaklardan biri olup, ekosistemlerin işleyişi, biyolojik çeşitliliğin korunması ve sosyoekonomik kalkınmanın sürdürülebilirliği açısından stratejik öneme sahiptir. Artan nüfus, hızlı kentleşme, arazi kullanımındaki değişimler, sanayileşme ve iklim değişikliği gibi küresel baskılar, su kaynaklarının nicelik ve nitelik bakımından giderek daha fazla tehdit altına girmesine neden olmaktadır. Bu süreç, su kaynaklarının yalnızca mühendislik uygulamalarıyla değil, havza ölçeğinde ekosistem temelli ve disiplinler arası yaklaşımlarla yönetilmesini gerekli kılmaktadır. Entegre havza yönetimi, doğal kaynakların korunması ile ekonomik ve sosyal gereksinimler arasında denge kurmayı hedefleyen, ekolojik süreçleri merkeze alan çağdaş bir yönetim anlayışı olarak öne çıkmaktadır ([10]; [15]).

Havzalar; ormanlar, tarım alanları, sulak alanlar, göller, akarsular ve yeraltı sularını kapsayan, birbirleriyle sürekli etkileşim hâlindeki karmaşık ekolojik sistemlerdir. Havza içerisinde meydana gelen herhangi bir arazi kullanım değişikliği, yalnızca karasal ekosistemleri değil; su kalitesi, sediment taşınımı, besin elementi döngüsü ve sucul habitatların ekolojik bütünlüğünü de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle havza yönetiminde orman ekosistemleri ile sucul ekosistemlerin birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir doğal kaynak yönetiminin temel koşullarından biri olarak kabul edilmektedir ([23]; [11]).

Orman ekosistemleri, yağışın tutulması, infiltrasyonun artırılması, yüzey akışının azaltılması, yeraltı suyu beslenmesinin desteklenmesi ve erozyonun kontrol altına alınması gibi önemli hidrolojik fonksiyonları yerine getirerek havza sağlığının korunmasına önemli katkılar sağlamaktadır. Bunun yanında riparyan ormanlar, su sıcaklığının düzenlenmesi, sediment ve besin elementi girişinin sınırlandırılması ile sucul canlılar için uygun habitat koşullarının oluşturulmasında kritik rol üstlenmektedir (Görsel 1). Bununla birlikte, ormanların su üretimi üzerindeki etkilerinin arazi özellikleri, iklim, orman tipi ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak değişebileceği; bu nedenle orman-su ilişkilerinin bilimsel veriler ışığında değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır ([10]; [34]).



Görsel 1. Riparian ekosistemi. Yiğit Avdan ve İnan., 2021

Su ürünleri mühendisliği ise havza yönetiminin sucul ekosistem boyutunu oluşturan temel disiplinlerden biridir. Akarsu, göl, baraj gölü ve sulak alan ekosistemlerinde su kalitesinin korunması, balık habitatlarının sürdürülebilir yönetimi, biyolojik çeşitliliğin izlenmesi, istilacı türlerin kontrolü ve sucul biyolojik kaynakların korunması gibi konular, entegre havza yönetiminin vazgeçilmez bileşenleri arasında yer almaktadır. Özellikle havza ölçeğinde meydana gelen sediment yükündeki artış, besin elementi taşınımı ve su rejimindeki değişimler, sucul organizmaların yaşam alanlarını doğrudan etkileyerek ekosistem hizmetlerinde önemli kayıplara yol açabilmektedir. Bu nedenle orman ve su ürünleri mühendisliği disiplinlerinin birlikte değerlendirilmesi, havza ekosistemlerinin ekolojik dayanıklılığının artırılmasına katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, entegre havza yönetimi yaklaşımı kapsamında orman ve su ürünleri mühendisliğinin tamamlayıcı rollerini literatür ışığında değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada her iki disiplinin havza planlama süreçlerine sağladığı katkılar ortaya konulmakta; ekosistem temelli yönetim anlayışının su kaynaklarının korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği ve iklim değişikliğine uyum açısından önemi tartışılmaktadır. Böylece disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesine yönelik bilimsel bir değerlendirme sunulması hedeflenmektedir.

2. ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİNİN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

Havza, belirli bir akarsu sistemi içerisinde yağış sularının yüzeysel akış ve yeraltı suyu hareketleri yoluyla aynı drenaj ağına ulaştığı, doğal sınırlarla tanımlanan hidrolojik bir birimdir. Bununla birlikte günümüzde havzalar yalnızca fiziksel ve hidrolojik sistemler olarak değil; ekolojik, ekonomik ve sosyal bileşenlerin karşılıklı etkileşim içerisinde bulunduğu karmaşık sosyo-ekolojik sistemler olarak değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, su kaynaklarının yalnızca miktar açısından değil; su kalitesi, ekosistem bütünlüğü, biyolojik çeşitlilik ve insan ihtiyaçları açısından da ele alınmasını gerektirmektedir (Görsel 2). Bu nedenle entegre havza yönetimi, havza içerisindeki tüm doğal kaynakların ve kullanıcıların ihtiyaçlarını dikkate alan bütüncül bir planlama ve uygulama süreci olarak tanımlanmaktadır ([18]; [16]).



Görsel 2. Entegre Havza Yaklaşımında Havzaların Özellikleri, OGM., 2021

Entegre havza yönetiminin temel amacı; su, toprak, orman ve biyolojik kaynakların sürdürülebilir kullanımını sağlamak, farklı sektörler arasındaki çatışmaları azaltmak ve ekosistemlerin uzun vadeli işleyişini korumaktır. Geleneksel su yönetimi yaklaşımlarında genellikle su miktarı ve fiziksel altyapı öncelikli iken, modern havza yönetimi anlayışı su kaynaklarını üretildikleri ekosistemlerle birlikte değerlendirmektedir. Bu bağlamda orman alanları, tarım arazileri, sulak alanlar, göller ve akarsular aynı sistemin birbirini etkileyen bileşenleri olarak ele alınmaktadır ([25]; [38]).

Havza süreçlerinde meydana gelen değişimler, sistem içerisindeki tüm bileşenleri etkileyebilmektedir. Örneğin orman alanlarının tahribi veya arazi kullanımındaki değişimler; yağışın tutulması, infiltrasyon kapasitesi, yüzey akışı, sediment taşınımı ve su kalitesi üzerinde önemli değişikliklere neden olabilir. Bu değişimler yalnızca karasal ekosistemleri değil, aynı zamanda akarsu ve göl ekosistemlerinde yaşayan sucul organizmaların yaşam koşullarını da etkiler. Özellikle sediment yükündeki artış, su sıcaklığındaki değişimler ve besin elementi girdilerindeki artış, balık habitatlarının bozulmasına ve sucul biyolojik çeşitliliğin azalmasına neden olabilmektedir ([1]; [13]).

Ekosistem temelli yaklaşım, entegre havza yönetiminin önemli bileşenlerinden biridir. Bu yaklaşım, doğal süreçlerin korunmasını ve ekosistemlerin sunduğu hizmetlerin yönetim kararlarına dahil edilmesini esas almaktadır. Orman ekosistemlerinin su düzenleme, erozyon kontrolü ve karbon depolama gibi hizmetleri ile sucul ekosistemlerin biyolojik üretim, besin döngüsü ve su kalitesi düzenleme işlevleri birlikte değerlendirildiğinde, havza yönetiminde disiplinler arası iş birliğinin gerekliliği açıkça ortaya çıkmaktadır ([24]; [7]).

Bu kapsamda orman mühendisliği ve su ürünleri mühendisliği disiplinleri, entegre havza yönetiminin birbirini tamamlayan iki temel bileşeni olarak değerlendirilebilir. Orman mühendisliği, havzanın üst kesimlerindeki karasal süreçlerin ve doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimine odaklanırken; su ürünleri mühendisliği, havzanın aşağı kesimlerinde yer alan akarsu, göl ve diğer sucul sistemlerin ekolojik durumunun korunmasına yönelik

çalışmalar yürütmektedir. Havza süreçlerinin sürekliliği dikkate alındığında, bu iki disiplinin ortak çalışması, su kaynaklarının korunması ve ekolojik dayanıklılığın artırılması açısından stratejik önem taşımaktadır.

3. ORMAN MÜHENDİSLİĞİNİN ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİNDEKİ ROLÜ

Orman ekosistemleri, havza sistemlerinin işleyişinde hidrolojik döngünün düzenlenmesi, toprak kaynaklarının korunması, karbon depolama kapasitesinin artırılması ve biyolojik çeşitliliğin desteklenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Havza ölçeğinde ormanların varlığı, yağışın tutulması, yüzeysel akışın azaltılması, infiltrasyonun artırılması ve sediment taşınımının kontrol edilmesi gibi süreçleri doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle orman mühendisliği, yalnızca odun üretimine yönelik bir disiplin olmaktan çıkmış; su, toprak ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir yönetimini kapsayan çok boyutlu bir doğal kaynak yönetimi alanına dönüşmüştür ([10]; [14]).

Ormanların hidrolojik süreçler üzerindeki etkileri; meşcere yapısı, ağaç türü, iklim koşulları, toprak özellikleri ve yönetim uygulamalarına bağlı olarak değişmektedir. Orman örtüsü, yağışın bir bölümünü taç yapısında tutarak doğrudan yüzey akışını azaltmakta, kök sistemleri aracılığıyla toprak stabilitesini artırarak erozyon süreçlerini sınırlandırmaktadır. Bunun yanında orman toprağının yüksek organik madde içeriği ve gözenekli yapısı, infiltrasyon kapasitesini artırarak suyun toprak içerisinde depolanmasına katkı sağlamaktadır. Bu süreçler, özellikle eğimli arazilerde taşkın riskinin azaltılması ve kurak dönemlerde su akışının düzenlenmesi açısından önem taşımaktadır ([9]; [20]).

Ormanların su kaynakları üzerindeki etkileri konusunda yapılan çalışmalar, orman varlığının su miktarı ve kalitesi üzerinde karmaşık ilişkiler oluşturduğunu göstermektedir. Orman alanları genellikle daha düşük sediment yükü, daha dengeli akış rejimi ve daha iyi su kalitesi ile ilişkilendirilirken; yoğun orman kullanımı veya yanlış ormancılık uygulamaları, toprak sıkışması, yüzey akış artışı ve besin elementi kayıpları yoluyla olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu nedenle entegre havza yönetimi kapsamında ormancılık faaliyetlerinin, havzanın hidrolojik özellikleri ve ekolojik hassasiyetleri dikkate alınarak planlanması gerekmektedir ([6]; [2]).

Erozyon kontrolü ve sediment yönetimi, orman mühendisliğinin havza yönetimindeki temel görevlerinden biridir. Özellikle dağlık ve eğimli bölgelerde orman örtüsünün korunması, toprak kayıplarının azaltılması ve akarsu sistemlerine taşınan sediment miktarının kontrol edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Aşırı sediment taşınımı, akarsu yataklarının fiziksel yapısını değiştirmekte, su kalitesini bozmakta ve balıkların üreme alanları başta olmak üzere birçok sucul habitat üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu nedenle üst havzalarda gerçekleştirilen erozyon kontrolü ve havza rehabilitasyonu çalışmaları, aşağı havzalardaki sucul ekosistemlerin korunmasına da doğrudan katkı sağlamaktadır ([40]; [17]).

Orman mühendisliği uygulamalarında son yıllarda ekosistem hizmetleri yaklaşımı giderek daha fazla önem kazanmıştır. Bu yaklaşım, ormanların yalnızca ekonomik değerleriyle değil; su düzenleme, iklim düzenleme, karbon tutumu, habitat sağlama ve rekreasyon gibi çoklu işlevleriyle değerlendirilmesini öngörmektedir. Havza yönetimi açısından değerlendirildiğinde, orman ekosistemlerinin korunması ve sürdürülebilir yönetimi, su kaynaklarının güvenliği ve ekolojik dayanıklılığın artırılması için doğal bir altyapı görevi görmektedir ([24]; [33]).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, dağlık topoğrafya, düzensiz yağış rejimi ve iklim değişikliğinin artan etkileri, orman-havza ilişkilerinin daha etkin yönetilmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye’de özellikle Akdeniz ve İç Anadolu geçiş kuşağındaki havzalarda orman alanlarının korunması; erozyon kontrolü, su üretiminin sürdürülebilirliği ve göl-akarsu ekosistemlerinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Orman Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen havza rehabilitasyonu, ağaçlandırma ve erozyon kontrolü çalışmaları, entegre havza yönetiminin karasal bileşenini oluşturan önemli uygulamalar arasında yer almaktadır ([28]).

Orman mühendisliği, entegre havza yönetiminde üst havzalardaki doğal süreçlerin korunması, hidrolojik dengenin sağlanması ve sucul ekosistemlerin sürdürülebilirliği için temel bir role sahiptir. Orman ekosistemlerinin sağlıklı tutulması, yalnızca karasal biyolojik çeşitliliğin korunmasına değil, aynı zamanda havzanın tamamındaki su kaynaklarının miktar ve kalite açısından güvence altına alınmasına katkı sağlamaktadır.

4. SU ÜRÜNLERİ MÜHENDİSLİĞİNİN ENTEGRE HAVZA YÖNETİMİNDEKİ ROLÜ

Su ürünleri mühendisliği, sucul ekosistemlerin sürdürülebilir yönetimi, biyolojik kaynakların korunması, su kalitesinin değerlendirilmesi ve sucul canlı topluluklarının devamlılığının sağlanmasına yönelik bilimsel ve teknik yaklaşımları kapsayan disiplinler arası bir mühendislik alanıdır. Entegre havza yönetimi yaklaşımında su ürünleri mühendisliği; akarsular, göller, rezervuarlar, sulak alanlar ve kıyısız sistemlerde ekolojik süreçlerin izlenmesi ve yönetilmesi yoluyla havzanın sucul bileşeninin korunmasında önemli bir rol üstlenmektedir. Su kaynaklarının yalnızca kullanım potansiyeli açısından değil, aynı zamanda ekolojik işlevleri ve biyolojik çeşitlilik değerleri açısından değerlendirilmesi, günümüz havza yönetimi anlayışının temel unsurlarından biridir ([13]; [3]).

Sucul ekosistemlerin sağlığı, havza içerisinde meydana gelen fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerden doğrudan etkilenmektedir. Üst havzalardaki arazi kullanım değişimleri, ormansızlaşma, tarımsal faaliyetler ve kentsel baskılar; su sıcaklığı, çözünmüş oksijen miktarı, besin elementi konsantrasyonları, sediment yükü ve habitat yapısında değişimlere neden olabilmektedir. Bu değişimler özellikle balık türleri ve diğer sucul organizmaların yaşam alanlarını etkileyerek ekosistem bütünlüğünün bozulmasına yol açmaktadır. Bu nedenle su ürünleri mühendisliği açısından havza yönetimi, yalnızca sucul alanların korunmasını değil, bu alanları besleyen tüm karasal süreçlerin de dikkate alınmasını gerektiren bütüncül bir yaklaşımdır ([1]; [39]).

Su kalitesinin korunması, su ürünleri mühendisliğinin entegre havza yönetimindeki en önemli katkı alanlarından biridir. Akarsular ve göller üzerinde gerçekleştirilen fiziksel, kimyasal ve biyolojik izleme çalışmaları; havzalardaki çevresel değişimlerin belirlenmesi ve yönetim kararlarının oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir. Sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik, azot ve fosfor bileşikler gibi temel su kalite parametrelerinin düzenli olarak izlenmesi, özellikle ötrofikasyon riski taşıyan göl ve rezervuarların yönetiminde önemli bir araçtır. Aşırı besin elementi girdileri, alg patlamaları, oksijen azalması ve balık ölümleri gibi süreçlere neden olabileceğinden, havza kaynaklı kirleticilerin kontrolü sucul ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından zorunludur ([12]; [35]).

Balık habitatlarının korunması ve restorasyonu da su ürünleri mühendisliğinin önemli çalışma alanlarından biridir. Balık türlerinin yaşam döngüsü; su akış rejimi, habitat yapısı, su sıcaklığı, sediment özellikleri ve besin kaynakları gibi birçok faktöre bağlıdır. Havza yönetiminde yalnızca su miktarının korunması yeterli olmayıp, sucul canlıların ihtiyaç duyduğu ekolojik koşulların da sağlanması gerekmektedir. Bu kapsamda çevresel akışların belirlenmesi, göç yollarının korunması, dere habitatlarının iyileştirilmesi ve kritik üreme alanlarının korunması, sucul biyolojik çeşitliliğin devamlılığı açısından büyük önem taşımaktadır ([30]; [3]).

Tatlı su ekosistemleri, küresel biyolojik çeşitlilik açısından yüksek öneme sahip olmakla birlikte insan kaynaklı baskılara karşı oldukça hassastır. Habitat kaybı, su kirliliği, aşırı avcılık, iklim değişikliği ve istilacı türlerin yayılımı, tatlı su biyolojik çeşitliliği üzerinde önemli tehditler oluşturmaktadır. Su ürünleri mühendisliği; stok değerlendirme çalışmaları, biyolojik izleme programları, yetiştiricilik faaliyetlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve koruma stratejilerinin geliştirilmesi yoluyla bu tehditlerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır ([31]).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, çok sayıda göl, akarsu ve baraj gölüne sahip olan ülkede sucul ekosistemlerin sürdürülebilir yönetimi büyük önem taşımaktadır. Türkiye’de özellikle sığ göller, sulak alanlar ve akarsu sistemlerinde su seviyesi değişimleri, besin maddesi yüklerindeki artışlar, habitat bozulmaları ve biyolojik çeşitlilik üzerindeki baskılar önemli ekolojik sorunlar oluşturmaktadır. Eğirdir, Beyşehir, Burdur ve Manyas gibi ekolojik açıdan önemli göller ile farklı havzalardaki iç su ekosistemlerinde yürütülen limnolojik araştırmalar ve biyolojik izleme çalışmaları, sucul kaynakların korunması ve entegre havza yönetimi yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca Türkiye iç sularında istilacı ve taşınmış balık türlerinin yayılımı, yerel biyolojik çeşitlilik ve ekosistem yönetimi açısından önemli bir tehdit oluşturmaktadır ([5]; [36]).

Su ürünleri mühendisliği, entegre havza yönetiminde sucul ekosistemlerin korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği ve su kaynaklarının ekolojik bütünlüğünün sağlanması açısından temel bir disiplin olarak değerlendirilmektedir. Orman mühendisliği tarafından yönetilen üst havza süreçleri ile su ürünleri mühendisliği tarafından değerlendirilen sucul ekosistem süreçlerinin birlikte ele alınması, havza ölçeğinde daha etkili ve sürdürülebilir yönetim modellerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

5. ORMAN VE SU ÜRÜNLERİ MÜHENDİSLİĞİNİN TAMAMLAYICI ROLLERİ

Entegre havza yönetimi, doğal kaynakların birbirinden bağımsız bileşenler olarak değil, karşılıklı etkileşim içerisinde bulunan dinamik sistemler olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bir havzanın üst kesimlerindeki orman ekosistemlerinde meydana gelen değişimler, akış rejimi, sediment taşınımı ve su kalitesi yoluyla aşağı havzalardaki akarsu, göl ve sulak alan ekosistemlerini doğrudan etkileyebilmektedir. Bu nedenle havza yönetiminde karasal ve sucul ekosistem süreçlerinin birlikte ele alınması, ekolojik bütünlüğün korunması açısından zorunludur. Orman mühendisliği ve su ürünleri mühendisliği disiplinleri, bu bütüncül yaklaşım içerisinde birbirini tamamlayan iki temel uzmanlık alanı olarak değerlendirilmektedir ([1]; [39]).

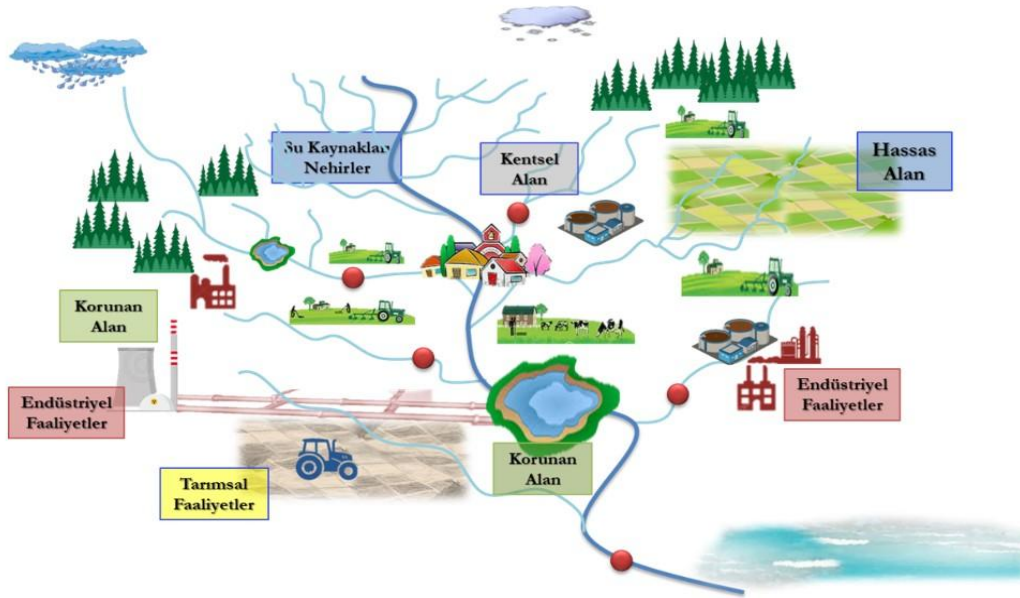
Orman mühendisliği, havzaların özellikle üst kesimlerinde yer alan karasal ekosistemlerin korunması, rehabilitasyonu ve sürdürülebilir yönetiminden sorumludur. Orman alanlarının korunması; yağışın tutulması, yüzey akışının düzenlenmesi, toprak erozyonunun azaltılması ve

sediment taşınımının kontrol edilmesi yoluyla sucul ekosistemlerin fiziksel koşullarının iyileştirilmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle dere kenarı ormanları ve tampon zonlar, karasal alanlardan sucul sistemlere taşınan sediment, besin maddeleri ve kirleticilerin azaltılmasında doğal filtre görevi görmektedir ([26]; [8]).

Su ürünleri mühendisliği ise havza sisteminin alıcı ortamlarını oluşturan akarsu, göl ve sulak alan ekosistemlerinin korunmasına odaklanmaktadır. Sucul ekosistemlerin sürdürülebilirliği; uygun su kalitesi koşullarının sağlanması, doğal akış rejimlerinin korunması, balık habitatlarının devamlılığı ve biyolojik çeşitliliğin izlenmesine bağlıdır. Bu kapsamda su ürünleri mühendisliği, üst havzalardan kaynaklanan fiziksel ve kimyasal değişimlerin sucul canlı toplulukları üzerindeki etkilerini değerlendirerek yönetim kararlarına bilimsel katkı sağlamaktadır ([4]; [31]).

Orman ve su ürünleri mühendisliği arasındaki en önemli tamamlayıcı ilişki, sediment ve besin elementi taşınımı süreçlerinde ortaya çıkmaktadır. Orman örtüsünün azalması veya yanlış arazi kullanımı sonucunda artan erozyon, akarsulara taşınan sediment miktarını artırarak sucul habitatların fiziksel yapısını değiştirebilmektedir. Sediment birikimi, balıkların üreme alanlarını olumsuz etkileyebilmekte, bentik organizma topluluklarında değişimlere neden olabilmekte ve su kalitesini azaltabilmektedir. Bu nedenle üst havzalarda gerçekleştirilen ormancılık uygulamaları, aynı zamanda aşağı havzalardaki su ürünleri kaynaklarının korunmasına yönelik önleyici bir yönetim aracı olarak değerlendirilebilir ([17]; [22]).

Benzer şekilde sucul ekosistemlerin durumu da havza yönetimi kararlarının değerlendirilmesinde önemli bir gösterge niteliğindedir. Balık toplulukları, makroomurgasızlar ve diğer sucul organizmalar; su kalitesi, habitat değişimleri ve hidrolojik bozulmalar hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır (Görsel 3). Bu nedenle su ürünleri mühendisliği tarafından gerçekleştirilen biyolojik izleme çalışmaları, havza yönetiminde geri bildirim sağlayan önemli araçlardan biridir. Elde edilen ekolojik veriler, orman yönetimi, arazi kullanımı planlaması ve koruma stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılabilmektedir ([21]; [19]).



Görsel 3. Su Kaynakları ve Havza Yönetimi, OGM., 2025

İki disiplin arasındaki iş birliği özellikle iklim değişikliğine uyum süreçlerinde daha fazla önem kazanmaktadır. İklim değişikliği; yağış rejimlerinde düzensizlik, uzun süreli kuraklıklar, aşırı yağış olayları ve su sıcaklıklarında artış gibi etkiler yoluyla hem orman hem de sucul ekosistemleri tehdit etmektedir. Orman ekosistemlerinin karbon depolama kapasitesi, su düzenleme işlevleri ve mikroiklim oluşturma özellikleri ile sucul ekosistemlerin biyolojik çeşitlilik ve ekolojik işlevleri birlikte değerlendirildiğinde, havzaların iklim değişikliğine karşı dayanıklılığının artırılmasında önemli bir sinerji ortaya çıkmaktadır ([32]; [37]).

Bu kapsamda entegre havza yönetiminde orman ve su ürünleri mühendisliği disiplinleri arasında kurulacak iş birliği; yalnızca doğal kaynakların korunmasını değil, aynı zamanda sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda ekolojik, ekonomik ve sosyal faydaların dengelenmesini sağlamaktadır. Orman ekosistemlerinden başlayan hidrolojik süreçlerin sucul sistemlerdeki sonuçlarının birlikte değerlendirilmesi, havza yönetiminde daha etkin, bilimsel temelli ve uzun vadeli çözümlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Entegre havza yönetimi, su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak amacıyla hidrolojik süreçleri, karasal ve sucul ekosistemleri, sosyoekonomik faaliyetleri ve insan ihtiyaçlarını birlikte değerlendiren bütüncül bir yönetim yaklaşımıdır. Günümüzde iklim değişikliği, arazi kullanım değişimleri, nüfus artışı ve artan doğal kaynak baskıları, havzaların karmaşık yapısını daha hassas hâle getirmekte ve geleneksel sektör temelli yönetim anlayışlarının yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Bu nedenle havza ölçeğinde ekosistemler arası ilişkileri dikkate alan disiplinler arası yaklaşımlar giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen orman mühendisliği ve su ürünleri mühendisliği disiplinlerinin, entegre havza yönetiminde birbirini tamamlayan temel roller üstlendiği görülmektedir. Orman mühendisliği; havzanın üst kesimlerinde yer alan orman ekosistemlerinin korunması, erozyon kontrolü, sediment taşınımının azaltılması, su döngüsünün düzenlenmesi ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir yönetimi açısından kritik katkılar sağlamaktadır. Buna karşılık su ürünleri mühendisliği; akarsu, göl ve sulak alan ekosistemlerinde su kalitesinin izlenmesi, biyolojik çeşitliliğin korunması, balık habitatlarının sürdürülebilir yönetimi ve sucul kaynakların ekolojik temelli kullanımında önemli görevler üstlenmektedir.

Havza sistemlerinin sürekliliği dikkate alındığında, üst havzalarda gerçekleştirilen uygulamaların aşağı havzalardaki sucul ekosistemler üzerinde doğrudan etkileri bulunmaktadır. Orman alanlarının korunması ve uygun şekilde yönetilmesi; sediment yükünün azaltılması, su kalitesinin iyileştirilmesi ve sucul habitatların korunmasına katkı sağlamaktadır. Aynı şekilde sucul ekosistemlerden elde edilen biyolojik göstergeler ve ekolojik izleme verileri, havza yönetimi kararlarının değerlendirilmesinde önemli geri bildirim mekanizmaları oluşturmaktadır. Bu karşılıklı ilişki, orman ve su ürünleri mühendisliği disiplinlerinin ortak planlama ve uygulama süreçlerinde birlikte ele alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Türkiye’de havza yönetimi uygulamalarının daha etkin hâle getirilebilmesi için öncelikle doğal kaynak yönetiminde disiplinler arası koordinasyonun güçlendirilmesi gerekmektedir. Orman

Genel Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Tarım ve Orman Bakanlığı birimleri, üniversiteler ve yerel paydaşlar arasında kurulacak güçlü iş birlikleri, havza planlarının daha bütüncül hazırlanmasına katkı sağlayacaktır. Özellikle havza koruma planlarında orman ekosistemleri, su kalite kriterleri, biyolojik göstergeler ve ekosistem hizmetlerinin birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

İklim değişikliğinin etkilerinin giderek belirginleştiği günümüzde, havzaların dayanıklılığının artırılması için doğa temelli çözümlere öncelik verilmelidir. Orman restorasyonu, riparyan tampon bölgelerin korunması, sulak alanların rehabilitasyonu, çevresel akışların belirlenmesi ve biyolojik izleme programlarının yaygınlaştırılması, sürdürülebilir havza yönetimi açısından önemli araçlar olarak değerlendirilmektedir. Bu uygulamalar, yalnızca doğal ekosistemlerin korunmasına değil, aynı zamanda toplumların uzun vadeli su güvenliğinin sağlanmasına da katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, entegre havza yönetiminde orman mühendisliği ve su ürünleri mühendisliği disiplinlerinin birlikte değerlendirilmesi; su kaynaklarının korunması, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği ve ekosistemlerin iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılması açısından stratejik öneme sahiptir. Gelecekteki havza yönetimi yaklaşımlarının, tek sektörlü uygulamalar yerine ekolojik süreçleri temel alan, bilimsel verilere dayalı ve paydaş katılımını esas alan bütüncül modeller üzerine kurulması gerekmektedir. Genel öneriler ise;

- 1. Havza planlama süreçlerinde disiplinler arası ekiplerin oluşturulması;**
Orman mühendisleri, su ürünleri mühendisleri, hidrojeologlar, çevre mühendisleri, ekolojistler ve sosyoekonomik uzmanların birlikte çalıştığı yönetim modelleri geliştirilmelidir.
- 2. Orman ve su ekosistemleri arasındaki bağlantıların yönetim planlarına dahil edilmesi;**
Üst havzalardaki ormancılık faaliyetlerinin aşağı havzalardaki sucul sistemler üzerindeki etkileri değerlendirilmelidir.
- 3. Biyolojik izleme sistemlerinin güçlendirilmesi;**
Balık toplulukları, sucul makrofauna ve diğer biyolojik göstergeler, havza yönetim kararlarında daha etkin kullanılmalıdır.
- 4. Riparyan alanların korunması ve rehabilitasyonu;**
Dere kenarı bitki örtülerinin korunması, sediment ve kirletici taşınımının azaltılması açısından öncelikli yönetim aracı olarak ele alınmalıdır.
- 5. İklim değişikliğine uyum stratejilerinin havza planlarına entegre edilmesi;**
Kuraklık, aşırı yağış, sıcaklık artışı ve su kıtlığı gibi risklere karşı uzun vadeli uyum planları geliştirilmelidir.

Entegre havza yönetimi yaklaşımı içerisinde orman ve su ürünleri mühendisliğinin birbirinden bağımsız değil, aynı ekolojik sistemin tamamlayıcı unsurları olduğunu ortaya koymaktadır. Orman ekosistemlerinden başlayan hidrolojik süreçlerin sucul sistemlerdeki etkilerinin birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir ve dirençli havza yönetimi modellerinin geliştirilmesi açısından temel bir gerekliliktir.

KAYNAKÇA

- [1] Allan, J. D. (2004). *Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- [2] Andréassian, V. (2004). *Waters and forests: From historical controversy to scientific debate*. *Journal of Hydrology*, 291(1–2), 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.12.015>
- [3] Arthington, A. H., Bhaduri, A., Bunn, S. E., Jackson, S. E., Tharme, R. E., Tickner, D., Young, B., Acreman, M., Baker, N., Capon, S., Horne, A. C., Kendy, E., King, J. M., Pal, S., & Poff, N. L. (2018). *The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows*. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 45. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045>
- [4] Arthington, A. H., Naiman, R. J., McClain, M. E., & Nilsson, C. (2010). *Preserving the biodiversity and ecological services of rivers: New challenges and research opportunities*. *Freshwater Biology*, 55(1), 1–16. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02340.x>
- [5] Beklioglu, M., Romo, S., Kagalou, I., Quintana, X., & Becares, E. (2007). *State of the art in the functioning of shallow Mediterranean lakes: Workshop conclusions*. *Hydrobiologia*, 584, 317–326. <https://doi.org/10.1007/s10750-007-0577-x>
- [6] Bosch, J. M., & Hewlett, J. D. (1982). *A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration*. *Journal of Hydrology*, 55(1–4), 3–23. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2)
- [7] Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K., & Mooney, H. A. (2007). *The nature and value of ecosystem services: An overview highlighting hydrologic services*. *Annual Review of Environment and Resources*, 32, 67–98. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.031306.102758>
- [8] Broadmeadow, S., & Nisbet, T. R. (2004). *The effects of riparian forest management on the freshwater environment: A literature review of best management practice*. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8(3), 286–305. <https://doi.org/10.5194/hess-8-286-2004>
- [9] Bruijnzeel, L. A. (2004). *Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees?* *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 104(1), 185–228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2004.01.015>
- [10] Calder, I. R. (2007). *Forests and water—Ensuring forest benefits outweigh water costs*. *Forest Ecology and Management*, 251(1–2), 110–120. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.015>
- [11] Calder, I., Hofer, T., Vermont, S., & Warren, P. (2007). *Towards a new understanding of forests and water*. *Unasylva*, 58(229), 3–10.

- [12] Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N., & Smith, V. H. (1998). *Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Ecological Applications*, 8(3), 559–568. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1998\)008\[0559:NPOSWW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1998)008[0559:NPOSWW]2.0.CO;2)
- [13] Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z.-I., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A.-H., Soto, D., Stiassny, M. L. J., & Sullivan, C. A. (2006). *Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- [14] Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., van Noordwijk, M., Creed, I. F., Pokorný, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., Springgay, E., & Sullivan, C. A. (2017). *Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. Global Environmental Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- [15] FAO. (2007). *Towards a new understanding of forests and water*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- [16] GWP. (2000). *Integrated water resources management* (TAC Background Paper No. 4). Global Water Partnership.
- [17] Gomi, T., Sidle, R. C., & Richardson, J. S. (2002). *Understanding processes and downstream linkages of headwater systems. BioScience*, 52(10), 905–916. [https://doi.org/10.1641/00063568\(2002\)052\[0905:UPADLO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/00063568(2002)052[0905:UPADLO]2.0.CO;2)
- [18] Heathcote, I. W. (1998). *Integrated watershed management: Principles and practice*. John Wiley & Sons.
- [19] Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Elliott, M., Feld, C. K., Heiskanen, A.-S., Johnson, R. K., Moe, J., Pont, D., Solheim, A. L., & de Bund, W. (2010). *The European Water Framework Directive at the age of 10: A critical review of the achievements with recommendations for the future. Science of the Total Environment*, 408(19), 4007–4019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.05.031>
- [20] Ilstedt, U., Malmer, A., Verbeeten, E., & Murdiyarso, D. (2007). *The effect of afforestation on water infiltration in the tropics. Forest Ecology and Management*, 251(1–2), 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.014>
- [21] Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21–27. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1981\)006<0021>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1981)006<0021>2.0.CO;2)
- [22] Kemp, P. S., Sear, D. A., Collins, A. L., Naden, P. S., & Jones, I. (2011). *The impacts of fine sediment on riverine fish. Hydrological Processes*, 25(11), 1800–1821. <https://doi.org/10.1002/hyp.7940>
- [23] Lorz, C., Volk, M., & Schmidt, G. (2007). *Considering spatial distribution and functionality of forests in a modeling framework for river basin management. Forest*

- Ecology and Management*, 248(1–2), 17–25.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.02.032>
- [24] Millennium Ecosystem Assessment (MEA). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press.
- [25] Molle, F. (2009). *River-basin planning and management: The social life of a concept*. *Geoforum*, 40(3), 484–494. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2009.03.004>
- [26] Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). *The ecology of interfaces: Riparian zones*. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 28, 621–658. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621>
- [27] OGM. (2021). <https://www.ogm.gov.tr/uhrs/haberler/uhrs-teknik-calistay-i-14-eylul-2021-sali-gunu-duzenlenecektir-52> (Erişim tarihi: 18.07.2026)
- [28] OGM. (2023). *2022 yılı idare faaliyet raporu*. Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [29] OGM. (2025). <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/GormeEngellilerDetay>
- [30] Poff, N. L., Allan, J. D., Bain, M. B., Karr, J. R., Prestegard, K. L., Richter, B. D., Sparks, R. E., & Stromberg, J. C. (1997). *The natural flow regime: A paradigm for river conservation and restoration*. *BioScience*, 47(11), 769–784. <https://doi.org/10.2307/1313099>
- [31] Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T. J., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Smol, J. P., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, J. C., Dudgeon, D., & Cooke, S. J. (2019). *Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity*. *Biological Reviews*, 94(3), 849–873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>
- [32] Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M. J., Trotsiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel, T. A., & Reyser, C. P. O. (2017). *Forest disturbances under climate change*. *Nature Climate Change*, 7, 395–402. <https://doi.org/10.1038/nclimate3303>
- [33] Seppelt, R., Dormann, C. F., Eppink, F. V., Lautenbach, S., & Schmidt, S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: *Approaches, shortcomings and the road ahead*. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 630–636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01952.x>
- [34] Serengil, Y., Gökbülak, F., Özhan, S., Hizal, A., & Şengönül, K. (2007). *Alteration of stream nutrient discharge with increased sedimentation due to thinning of a deciduous forest in Istanbul*. *Forest Ecology and Management*, 246, 264–272. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.04.008>
- [35] Smith, V. H., & Schindler, D. W. (2009). *Eutrophication science: Where do we go from here?* *Trends in Ecology & Evolution*, 24(4), 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.11.009>

- [36] Tarkan, A. S., Marr, S. M., & Ekmekçi, F. G. (2015). *Non-native and translocated freshwater fish species in Turkey. Fishes in Mediterranean Environments*, 2015(003), 1–28. <https://doi.org/10.29094/FiSHMED.2015.003>
- [37] Tickner, D., Opperman, J. J., Abell, R., Acreman, M., Arthington, A. H., Bunn, S. E., Cooke, S. J., Dalton, J., Darwall, W., Edwards, G., Harrison, I., Hughes, K., Jones, T., Leclère, D., Lynch, A. J., Leonard, P., McClain, M. E., McIntyre, P. B., Muruven, D., Olden, J. D., Ormerod, S. J., Robinson, J., Tharme, R. E., Thieme, M., Tockner, K., Wright, M., & Young, L. (2020). Bending the curve of global freshwater biodiversity loss: *An emergency recovery plan. BioScience*, 70(4), 330–342. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa002>
- [38] UN-Water. (2017). *Integrated monitoring guide for Sustainable Development Goal 6 on water and sanitation: Targets and global indicators*. UN-Water.
- [39] Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Reidy Liermann, C., & Davies, P. M. (2010). *Global threats to human water security and river biodiversity. Nature*, 467, 555–561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- [40] Walling, D. E. (2006). *Human impact on land-ocean sediment transfer by the world's rivers. Geomorphology*, 79(3–4), 192–216. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.06.019>
- [41] Yiğit Avdan ve İnan. (2021). *Kıyı Sulak Alanlar (Riparian) Ve Uzaktan Algılama/Coğrafi Bilgi Sistemleri*. III. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, 11 – 13 Ekim 2010, Gebze – KOCAELİ.

HAVZA ÖLÇEĞİNDE ORMANSIZLAŞMANIN AKARSU EKOSİSTEMLERİ VE BALIK TOPLULUKLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Mustafa İlker SÜRER

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

E mail: misurer@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2735-9545

Prof. Dr. Nilüfer YAZICI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

E mail: niluferyazici@isparta.edu.tr, Orcid: 0000-0002-4397-5639

ÖZET

Ormansızlaşma, karasal ve sucul ekosistemler arasındaki ekolojik bağlantıları zayıflatarak havza hidrolojisi, madde döngüleri ve habitat bütünlüğü üzerinde önemli değişimlere neden olan temel antropojenik baskılardan biridir. Havza ölçeğinde orman örtüsünün azalması; infiltrasyon kapasitesinin düşmesi, yüzeysel akış ve sediment taşınımının artması, akarsu morfolojisinde değişimler ve su kalitesinde bozulmalar gibi süreçleri tetiklemektedir. Bu değişimler, akarsu ekosistemlerinde habitat yapısının ve ekolojik işlevlerin bozulmasına, sucul organizmaların yaşam koşullarının olumsuz etkilenmesine yol açmaktadır.

Bu çalışmada, ormansızlaşmanın akarsu ekosistemlerinin ekolojik bütünlüğü ve balık topluluklarının yapısal özellikleri üzerindeki etkileri havza ölçeğinde değerlendirilmektedir. Orman kaybına bağlı hidromorfolojik değişimler, sediment yükündeki artış, sıcaklık rejimi farklılaşmaları, çözünmüş oksijen dinamikleri ve besin elementi döngülerindeki değişimlerin; balık topluluklarının tür kompozisyonu, bolluk, dağılım örüntüleri ve popülasyon sürekliliği üzerindeki etkileri ele alınmaktadır.

Yapılan araştırmalar sonucunda, ormansızlaşmanın habitat gereksinimleri yüksek ve çevresel değişimlere duyarlı balık türlerinde popülasyon baskılarına neden olduğunu, toleransı yüksek türlerin ise baskın hale gelebildiğini göstermektedir. Bu nedenle, akarsu ekosistemlerinin ve balık biyolojik çeşitliliğinin korunması için havza ölçeğinde entegre yönetim yaklaşımlarının benimsenmesi, orman ekosistemlerinin korunması ve ekolojik restorasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ormansızlaşma, havza ekolojisi, akarsu ekosistemleri, balık toplulukları, habitat bozulması

1. GİRİŞ

Orman ekosistemleri, karasal ve sucul ekosistemler arasındaki enerji, madde ve su akışını düzenleyen temel doğal sistemlerdir. Özellikle havza ölçeğinde ormanlar; yağışın tutulması, toprağın su tutma kapasitesinin artırılması, erozyonun sınırlandırılması ve akarsu rejiminin düzenlenmesi gibi çok sayıda ekosistem hizmeti sağlamaktadır. Orman örtüsündeki kayıplar ise bu doğal düzenleyici mekanizmaları bozarak yüzeysel akışın artmasına, infiltrasyon kapasitesinin azalmasına ve sediment taşınımının hızlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle ormansızlaşma, yalnızca karasal habitat kaybı olarak değil, aynı zamanda havza hidrolojisini ve sucul ekosistemleri etkileyen çok boyutlu bir çevresel değişim olarak değerlendirilmelidir (Ellison et al., 2017; Allan, 2004).

Akarsu ekosistemleri, çevresindeki karasal sistemlerle sürekli madde ve enerji alışverişi içerisinde bulunan dinamik yapılardır. Bu nedenle havza içerisindeki arazi kullanım değişimleri, akarsuların fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini doğrudan etkileyebilmektedir. Ormansızlaşma sonucunda artan yüzeysel akış; sediment, besin maddeleri ve kirleticilerin akarsulara taşınmasını artırırken, akarsu yatağının morfolojisinde ve habitat yapısında önemli değişimlere yol açmaktadır. Özellikle ince sediment birikimi, taşlık ve çakıllı habitatların kaybına neden olarak bentik organizmaların ve bu organizmalarla beslenen balık türlerinin yaşam alanlarını sınırlandırmaktadır (Wood & Armitage, 1997; Richardson & Béraud, 2014).

Akarsu balıkları, çevresel değişimlere verdikleri hızlı tepkiler nedeniyle ekosistem sağlığının değerlendirilmesinde önemli biyolojik göstergeler olarak kabul edilmektedir. Balık topluluklarının tür kompozisyonu, bolluk dağılımı ve fonksiyonel özellikleri; su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, habitat karmaşıklığı ve akış rejimi gibi çevresel değişkenlerden etkilenmektedir. Ormansızlaşmaya bağlı habitat kaybı ve su kalitesindeki bozulmalar, özellikle dar tolerans aralığına sahip türlerde popülasyon azalmasına neden olurken, toleransı yüksek genelci türlerin topluluk içerisinde baskın hale gelmesine yol açabilmektedir (Karr, 1981; Pont et al., 2006).

Türkiye, üç farklı biyocoğrafik bölgenin kesişiminde bulunması nedeniyle yüksek içsu balığı çeşitliliğine ve önemli düzeyde endemizme sahip ülkelerden biridir. Anadolu'nun farklı havzalarında bulunan akarsular, çok sayıda yerel balık türüne yaşam alanı sağlamaktadır. Bununla birlikte, son yıllarda arazi kullanımındaki değişimler, orman kayıpları, su kaynaklarının yoğun kullanımı, habitat parçalanması ve akarsu düzenleme çalışmaları bu biyolojik çeşitlilik üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır. Özellikle sınırlı yayılışa sahip endemik türler, habitat değişimlerine karşı daha hassas olmaları nedeniyle öncelikli koruma gerektiren gruplar arasında yer almaktadır (Çiçek et al., 2018; Fricke et al., 2023).

Ormansızlaşmanın akarsu ekosistemleri üzerindeki etkileri küresel ölçekte birçok çalışmada ortaya konulmuş olmakla birlikte, etkilerin şiddeti ve ekolojik sonuçları bölgesel özelliklere göre değişebilmektedir. Havzanın iklimi, jeomorfolojik yapısı, baskın arazi kullanımı, akarsu tipi ve mevcut biyolojik çeşitlilik düzeyi; orman kaybının sucul ekosistemler üzerindeki sonuçlarını belirleyen temel faktörlerdir. Bu nedenle ormansızlaşma–akarsu ilişkilerinin değerlendirilmesinde genel yaklaşımların yanında bölgesel ekolojik özelliklerin de dikkate alınması gerekmektedir (Dudgeon et al., 2006; Cantera et al., 2023).

Bu çalışmanın amacı, ormansızlaşmanın akarsu ekosistemlerinin ekolojik bütünlüğü ve balık toplulukları üzerindeki etkilerini güncel bilimsel literatür ışığında değerlendirmek; habitat değişimleri, su kalite parametreleri ve biyolojik topluluk tepkileri arasındaki ilişkileri ortaya koymaktır. Ayrıca Türkiye akarsu sistemleri açısından orman koruma, havza yönetimi ve ekolojik restorasyon uygulamalarının balık biyolojik çeşitliliğinin sürdürülebilirliğindeki rolü tartışılmaktadır.

2. ORMANSIZLAŞMANIN HAVZA HİDROLOJİSİ VE AKARSU HABİTAT YAPISINA ETKİLERİ

Ormanlar, havza hidrolojisinin düzenlenmesinde kritik rol oynayan ekosistem bileşenleridir. Ağaç örtüsü yağışın bir bölümünü taç yapısında tutarak doğrudan yüzey akışını azaltmakta, kök sistemleri aracılığıyla toprağın yapısını iyileştirerek infiltrasyonu desteklemekte ve suyun havza içerisindeki dolaşımını düzenlemektedir. Bu nedenle orman alanlarındaki kayıplar, yağışın akarsu sistemlerine ulaşma biçimini değiştirerek akış rejiminde düzensizliklere, taşkın riskinin artmasına ve kurak dönemlerde taban akımlarının azalmasına neden olabilmektedir. Ormanların hidrolojik işlevleri özellikle dağlık havzalarda daha belirgin olup, su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından önemli ekosistem hizmetleri sağlamaktadır (Ellison et al., 2017; Bosch & Hewlett, 1982).

Ormansızlaşma ile birlikte toprak yüzeyinin bitki örtüsü tarafından korunamaması, erozyon süreçlerini hızlandırmakta ve akarsulara taşınan sediment miktarını artırmaktadır (Görsel 1). Sediment taşınımındaki artış, akarsu yatağının fiziksel özelliklerini değiştirerek habitat heterojenliğinin azalmasına neden olmaktadır. Özellikle çakıl ve taşlık tabanlı habitatların ince sedimentlerle kaplanması; bentik makroomurgasızların yaşam alanlarını sınırlandırmakta ve bu organizmalarla beslenen balık türlerinin besin kaynaklarını azaltmaktadır. Bu nedenle sediment baskısı, ormansızlaşmanın sucul biyolojik çeşitlilik üzerindeki en önemli dolaylı etkilerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Wood & Armitage, 1997; Richardson & Béraud, 2014).



Görsel 1. Ormansızlaşma, TEMA., 2026

Türkiye’de orman alanlarının önemli bir bölümü eğimli ve dağlık havzalarda yer almakta olup, bu alanlar toprak koruma ve su üretimi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle Akdeniz, Karadeniz ve Doğu Anadolu bölgelerindeki havzalarda orman örtüsünün sürekliliği; yüzeysel akışın kontrolü, erozyonun sınırlandırılması ve su rejiminin dengelenmesi açısından belirleyici olmaktadır. Arazi kullanım değişiklikleri, yangınlar, aşırı otlatma ve insan kaynaklı baskılar sonucunda orman örtüsünün azalması, Türkiye havzalarında toprak kaybı ve sediment üretimi açısından önemli sorunlar oluşturabilmektedir (Başkent et al., 2008; Çepel, 2008).

Akarsu habitatlarının fiziksel yapısı, sucul canlı topluluklarının dağılımını belirleyen temel faktörlerden biridir. Ormansızlaşmaya bağlı olarak riparyan bitki örtüsünün azalması; kıyı stabilitesinin bozulmasına, organik materyal girdisinin azalmasına ve akarsu kanal yapısının sadeleşmesine neden olmaktadır. Riparyan alanlardan gelen yaprak, dal ve odunsu materyaller küçük akarsularda önemli enerji kaynakları oluşturmakta ve habitat çeşitliliğini artırmaktadır. Bu nedenle kıyı ormanlarının kaybı, yalnızca fiziksel habitat kaybına değil, aynı zamanda akarsu ekosistemlerindeki enerji akışı ve besin ağı yapısında değişimlere neden olmaktadır (Vannote et al., 1980; Sweeney & Newbold, 2014).

Türkiye akarsularında yapılan çalışmalar, arazi kullanım değişimlerinin su kalitesi ve biyolojik topluluklar üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu veya orman örtüsünün azaldığı havzalarda besin elementi yüklerinin artması, habitat kalitesinin düşmesi ve hassas sucul türlerin azalması gibi etkiler gözlenmektedir. Bu nedenle akarsu yönetiminde yalnızca kimyasal su kalite ölçümlerinin değil, havza kullanım özelliklerinin ve habitat bütünlüğünün de değerlendirilmesi gerekmektedir (Küçük et al., 2017; Çiçek et al., 2018).

Ormansızlaşmanın havza ölçeğindeki etkileri değerlendirildiğinde, orman ekosistemlerinin korunmasının yalnızca karasal biyolojik çeşitlilik açısından değil, aynı zamanda sucul ekosistemlerin sürdürülebilirliği açısından da zorunlu olduğu görülmektedir. Bu kapsamda orman alanlarının korunması, riparyan tampon bölgelerin devamlılığının sağlanması ve erozyon kontrol uygulamalarının geliştirilmesi; akarsu habitat kalitesinin korunması için temel yönetim araçları arasında yer almaktadır (Allan, 2004; Palmer et al., 2010).

3. ORMANSIZLAŞMANIN AKARSU BALIK TOPLULUKLARININ YAPISI, TÜRLERİN DAĞILIMI VE BİYOLOJİK ÇEŞİTLİLİK ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Balık toplulukları, akarsu ekosistemlerinin çevresel değişimlere verdiği biyolojik yanıtların belirlenmesinde en yaygın kullanılan gösterge gruplarından biridir. Balıkların yaşam döngülerinin büyük bölümünü sucul ortamda sürdürmeleri, farklı habitat koşullarına yönelik özel gereksinimlere sahip olmaları ve çevresel stres faktörlerine duyarlı olmaları, onları havza ölçeğindeki değişimlerin değerlendirilmesi açısından önemli kılmaktadır. Ormansızlaşmaya bağlı olarak meydana gelen habitat kaybı, sıcaklık değişimleri, sediment artışı ve akış rejimindeki bozulmalar; balık topluluklarının tür bileşimi, bolluk dağılımı ve fonksiyonel özellikleri üzerinde doğrudan etkiler oluşturmaktadır (Karr, 1981; Allan, 2004).

Orman örtüsünün azalmasıyla birlikte akarsu habitatlarında meydana gelen fiziksel değişimler, özellikle habitat uzmanı türleri daha fazla etkilemektedir. Soğuk, oksijence zengin ve karmaşık habitat yapısına sahip küçük akarsularda yaşayan türler; su sıcaklığındaki artış, ince sediment

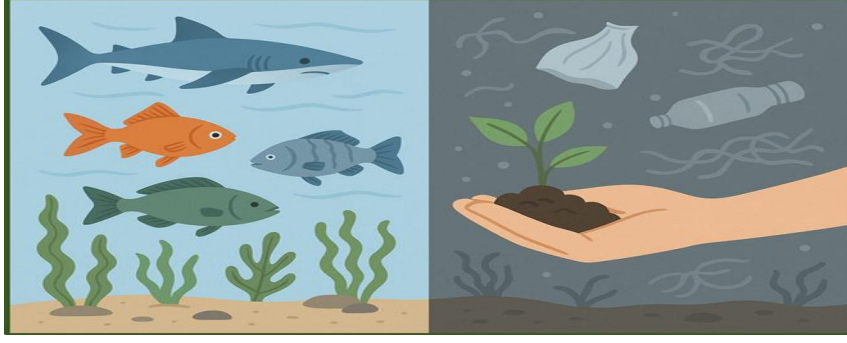
birikimi ve saklanma alanlarının azalması sonucunda yaşam alanı kayıpları yaşayabilmektedir. Buna karşılık geniş çevresel toleransa sahip, farklı habitat koşullarında yaşayabilen geneli türler, bozulan sistemlerde rekabet avantajı elde ederek topluluk içerisinde baskın hale gelebilmektedir. Bu durum, tür zenginliğinin azalmasının yanı sıra topluluk yapısında önemli bir değişime neden olmaktadır (Walters et al., 2003; Sweeney & Newbold, 2014).

Balık topluluklarındaki değişimler yalnızca tür kaybı üzerinden değil, aynı zamanda fonksiyonel çeşitlilik açısından da değerlendirilmelidir. Fonksiyonel çeşitlilik; türlerin beslenme stratejileri, yaşam alanı kullanımı, büyüme özellikleri ve üreme özellikleri gibi ekolojik rollerini ifade etmektedir. Ormansızlaşma sonucunda büyük vücutlu, uzun yaşam süreli veya özel habitat gereksinimi bulunan türlerin azalması; hızlı büyüyen, kısa yaşam döngüsüne sahip ve çevresel değişimlere dayanıklı türlerin artmasına neden olabilmektedir. Bu süreç, akarsu ekosistemlerinin işlevsel kapasitesini ve çevresel değişimlere karşı dayanıklılığını azaltmaktadır (Villéger et al., 2010; Cantera et al., 2023).

Türkiye akarsuları, Avrupa, Asya ve Ortadoğu biyocoğrafik bölgeleri arasında geçiş alanında bulunması nedeniyle yüksek düzeyde balık çeşitliliğine sahiptir. Anadolu'nun farklı havzalarında çok sayıda endemik tatlısu balığı türü bulunmakta ve bu türlerin önemli bir bölümü sınırlı yayılım alanlarına sahiptir. Bu özellik, Türkiye içsu balıklarını habitat değişimlerine karşı daha hassas hale getirmektedir. Ormansızlaşma, dere yatağı değişimleri, su rejimine yönelik müdahaleler ve habitat parçalanması; özellikle küçük havzalara özgü endemik türlerin popülasyon devamlılığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır (Çiçek et al., 2018; Fricke et al., 2023).

Türkiye'deki birçok akarsu sisteminde balık topluluklarının yapısı, havza kullanım özellikleri ve habitat kalitesiyle yakından ilişkilidir. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu, doğal kıyı bitki örtüsünün azaldığı veya fiziksel habitat değişimlerinin görüldüğü alanlarda hassas türlerin azalabildiği; buna karşılık çevresel toleransı yüksek türlerin yayılım gösterebildiği bildirilmektedir. Bu nedenle balık çeşitliliğinin korunmasında yalnızca türlerin korunması değil, türlerin yaşamını sürdürebildiği doğal habitatların ve havza süreçlerinin korunması temel hedef olmalıdır (Küçük et al., 2017; Tarkan et al., 2015).

Ormansızlaşmanın balık toplulukları üzerindeki etkileri, iklim değişikliği ve diğer insan kaynaklı baskılarla birlikte değerlendirildiğinde daha karmaşık hale gelmektedir (Görsel 2). Artan su sıcaklıkları, değişen yağış rejimleri ve habitat parçalanması; özellikle dar toleranslı türler üzerindeki baskıyı artırmaktadır. Bu nedenle gelecekteki koruma stratejilerinde yalnızca mevcut tür çeşitliliğinin korunması değil, aynı zamanda balık popülasyonlarının iklim ve arazi kullanım değişikliklerine karşı dayanıklılığının artırılması hedeflenmelidir (Dudgeon et al., 2006; Isaak et al., 2015).



Görsel 2. Maviyi Yaşatma, Çevreni koru., 2026

Sonuç olarak, ormansızlaşma akarsu balık topluluklarını doğrudan ve dolaylı mekanizmalar yoluyla etkileyen önemli bir ekolojik baskıdır. Habitat yapısının korunması, riparyan orman kuşaklarının devamlılığının sağlanması ve havza ölçeğinde bütüncül yönetim yaklaşımlarının uygulanması; balık biyolojik çeşitliliğinin korunması için temel gereklilikler arasında yer almaktadır (Lorion & Kennedy, 2009; Palmer et al., 2010).

4. TÜRKİYE AKARSULARINDA ORMAN KAYBI, HABİTAT BOZULMASI VE BALIK ÇEŞİTLİLİĞİNİN KORUNMASI

Türkiye, sahip olduğu farklı iklim kuşakları, jeolojik yapı ve topoğrafik özellikleri nedeniyle çok çeşitli tatlısu ekosistemlerine sahip ülkelerden biridir. Anadolu yarımadası; Avrupa, Asya ve Ortadoğu biyocoğrafik bölgeleri arasında geçiş konumunda bulunması nedeniyle yüksek düzeyde biyolojik çeşitlilik ve endemizm göstermektedir. Özellikle küçük dağ dereleri, kapalı havzalar ve izole akarsu sistemleri, çok sayıda yerel balık türünün yaşam alanını oluşturmaktadır. Ancak bu yüksek biyolojik çeşitlilik, sınırlı yayılım alanına sahip türlerin çevresel değişimlere karşı daha hassas olması nedeniyle önemli koruma sorumluluklarını da beraberinde getirmektedir (Çiçek et al., 2018; Fricke et al., 2023).

Türkiye akarsu sistemlerinde son yıllarda meydana gelen arazi kullanım değişimleri, sucul habitatların fiziksel ve ekolojik özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Orman alanlarının azalması, tarımsal alanların genişlemesi, kentleşme, madencilik faaliyetleri, hidroelektrik santral projeleri ve akarsu düzenleme çalışmaları; akarsu habitatlarının sürekliliğini azaltan başlıca faktörler arasında yer almaktadır (**Görsel 3**). Bu baskılar sonucunda doğal akış rejimleri değişebilmekte, sediment dengesi bozulabilmekte ve balıkların yaşam döngülerinde ihtiyaç duydukları habitat bağlantıları zarar görebilmektedir (Küçük et al., 2017; Tarkan et al., 2015).



Görsel 3. Orman alanlarının azalması, Acil gündem., 2024

Türkiye'deki birçok tatlısu balığı türü belirli havzalara özgü dağılım göstermektedir. Bu durum, havza ölçeğindeki çevresel değişimlerin türlerin tamamını etkileyebilecek sonuçlar doğurmasına neden olmaktadır. Örneğin endemik veya dar yayılışlı türlerde küçük ölçekli habitat kayıpları bile popülasyon büyüklüğünde önemli azalmalar oluşturabilmektedir. Habitat parçalanması, üreme alanlarının kaybı ve su kalitesindeki bozulmalar; bu türlerin genetik çeşitliliğini azaltarak uzun vadeli yaşam şanslarını olumsuz etkileyebilmektedir (Freyhof et al., 2014; Çiçek et al., 2018).

Türkiye’de orman ekosistemleri özellikle yüksek eğimli havzalarda akarsu habitatlarının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Orman örtüsü; yüzeysel akışın kontrol edilmesi, sediment taşınımının azaltılması ve akarsu sıcaklık rejiminin düzenlenmesi yoluyla sucul canlılar için daha kararlı yaşam koşulları sağlamaktadır. Riparyan orman alanları, yüzeysel akışla taşınan kirleticiler için doğal bir tampon görevi görerek akarsu ekosistemlerinin ekolojik bütünlüğünün korunmasına katkı sağlamaktadır (Sweeney & Newbold, 2014; OGM, 2021).

Bu nedenle orman kaybı yalnızca karasal habitatların azalmasına değil, aynı zamanda akarsu biyolojik çeşitliliğini destekleyen ekolojik süreçlerin bozulmasına neden olmaktadır. Türkiye içsularında balık topluluklarının dağılımı ve habitat tercihleri üzerinde çevresel koşulların, habitat özelliklerinin ve insan kaynaklı değişimlerin belirleyici olduğu bildirilmektedir (Güçlü, 2020). Özellikle soğuk suya bağımlı salmonid türleri ve yüksek oksijen gereksinimine sahip balık toplulukları, habitat sıcaklığı ve su rejimindeki değişimlerden daha fazla etkilenebilmektedir (Isaak et al., 2015).

Türkiye’de yapılan araştırmalar, balık topluluklarının dağılımı ve korunma durumunda habitat özellikleri, çevresel değişimler, su kalitesi ve insan kaynaklı baskıların belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır. Akarsu habitatlarının doğal yapısının korunması, kıyı (riparyan) bitki örtüsünün devamlılığının sağlanması ve su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, tatlısu balık topluluklarının korunması açısından temel unsurlar arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, Türkiye’deki birçok içsu ekosisteminde balık faunası ve habitatların; su çekimi, kirlilik, baraj ve gölet yapımı, habitat değişimi ve istilacı tür baskıları nedeniyle tehdit altında olduğu bildirilmektedir. Bu nedenle uzun dönemli, geniş ölçekli ve bütüncül izleme çalışmalarının geliştirilmesi gerekmektedir (Çiçek et al., 2018; Güçlü, 2020).

Türkiye’de tatlısu biyolojik çeşitliliğinin korunması için öncelikli yaklaşım, tür merkezli koruma anlayışından daha geniş bir ekosistem koruma anlayışına geçiş olmalıdır. Sadece tehdit altındaki balık türlerinin korunması yeterli olmayıp, bu türlerin yaşamını sürdürebildiği havza koşullarının, habitat bütünlüğünün ve ekolojik süreçlerin korunması gerekmektedir. Türkiye içsularında balık çeşitliliğinin önemli ölçüde endemizm, habitat kaybı, su kullanım baskıları ve insan kaynaklı değişimlerden etkilendiği bildirilmektedir (Çiçek et al., 2018; Freyhof et al., 2014). Bu kapsamda doğal orman alanlarının korunması, akarsu kenarı tampon bölgelerin oluşturulması, su kullanım planlamasının ekolojik ihtiyaçları dikkate alması ve habitat restorasyon çalışmalarının artırılması önem taşımaktadır (Dudgeon et al., 2006; Palmer et al., 2010).

Sonuç olarak, Türkiye akarsularında orman kaybı ve buna bağlı habitat değişimleri, balık biyolojik çeşitliliği üzerinde doğrudan ve dolaylı etkiler oluşturan önemli çevresel baskılar arasında yer almaktadır. Anadolu'nun sahip olduğu yüksek endemizm dikkate alındığında, orman-akarsu-balık ilişkisini birlikte değerlendiren bütüncül koruma stratejilerinin geliştirilmesi, gelecekteki biyolojik çeşitlilik kayıplarının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir.

5. EKOLOJİK RESTORASYON, HAVZA YÖNETİMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR KORUMA YAKLAŞIMLARI

Akarsu ekosistemlerinde meydana gelen bozulmaların giderilmesi, yalnızca su kalitesinin iyileştirilmesiyle sınırlı olmayan, havza ölçeğinde bütüncül yaklaşımlar gerektiren karmaşık bir süreçtir. Ormansızlaşmanın neden olduğu etkiler; hidrolojik düzenin değişmesi, sediment taşınımının artması, habitat heterojenliğinin azalması ve biyolojik toplulukların yapısının bozulması gibi birbirini etkileyen süreçlerden oluşmaktadır. Bu nedenle etkili koruma ve restorasyon stratejilerinin, akarsu sistemlerini çevresiyle birlikte değerlendiren ekosistem temelli yönetim anlayışına dayanması gerekmektedir (Palmer et al., 2010; Allan & Castillo, 2007).

Akarsu restorasyonunda en önemli uygulamalardan biri, doğal riparyan orman kuşaklarının korunması ve bozulan alanlarda yeniden oluşturulmasıdır. Akarsu kenarı bitki örtüsü; sediment ve besin maddelerinin akarsuya girişini azaltmakta, su sıcaklığını düzenlemekte, kıyı stabilitesini artırmakta ve sucul canlılar için kritik yaşam alanları sağlamaktadır. Özellikle küçük akarsularda riparyan alanlardan gelen odunsu materyaller, habitat karmaşıklığını artırarak balıkların saklanma, beslenme ve üreme alanlarını desteklemektedir. Bu nedenle riparyan tampon bölgelerin korunması, ormansızlaşmanın akarsu ekosistemleri üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmada temel araçlardan biri olarak kabul edilmektedir (Sweeney & Newbold, 2014; Richardson & Béraud, 2014).

Ekolojik restorasyon uygulamalarında yalnızca bitki örtüsünün yeniden oluşturulması yeterli değildir. Akarsuların doğal hidrolojik ve morfolojik süreçlerinin yeniden desteklenmesi gerekmektedir. Doğal akış rejiminin korunması, yapay engellerin azaltılması, balıkların göç yollarının açık tutulması ve habitat çeşitliliğinin artırılması, balık topluluklarının yeniden güçlenmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle göç davranışı gösteren veya yaşam döngüsünün farklı dönemlerinde farklı habitatlara ihtiyaç duyan türler için akarsu bağlantısının korunması büyük önem taşımaktadır (Haase et al., 2013; Wohl et al., 2015).

Türkiye’de havza yönetimi uygulamalarında son yıllarda su kaynaklarının korunması ve ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilir kullanımı konusunda önemli gelişmeler görülmektedir (Görsel 4). Ancak birçok havzada su kullanımı, arazi dönüşümü ve habitat değişimleri nedeniyle doğal akarsu süreçleri üzerinde baskılar devam etmektedir. Bu nedenle havza yönetim planlarında yalnızca su miktarı ve kullanım talepleri değil, aynı zamanda ekolojik ihtiyaçlar, biyolojik çeşitlilik ve habitat sürekliliği de dikkate alınmalıdır. Özellikle orman alanlarının korunması ve erozyon kontrol çalışmalarının güçlendirilmesi, akarsu ekosistemlerinin uzun vadeli korunması açısından önem taşımaktadır (Başkent et al., 2008; OGM, 2021).



Görsel 4. Ormanlarda hava kirliliği ve iklim değişikliğinin etkileri, OGM., 2026

Balık biyolojik çeşitliliğinin korunması açısından etkili bir diğer yaklaşım, uzun dönemli biyolojik izleme programlarının geliştirilmesidir. Geleneksel su kalite değerlendirmeleri çoğunlukla fizikokimyasal parametrelerle sınırlı kalırken, balık toplulukları ekosistemin geçmiş ve mevcut durumuna ilişkin daha bütüncül bilgiler sağlayabilmektedir. Tür kompozisyonu, bolluk değişimleri, fonksiyonel özellikler ve yaşam alanı tercihleri; akarsu ekolojik durumunun belirlenmesinde önemli göstergeler olarak kullanılmaktadır (Karr, 1981; Pont et al., 2006).

Türkiye’de içsu balıklarının korunmasına yönelik çalışmalarda, özellikle endemik ve tehdit altındaki türlerin yaşam alanlarının korunması öncelikli hedeflerden biri olmalıdır. Bunun için koruma alanlarının yalnızca türlerin bulunduğu noktalarla sınırlandırılmaması, türlerin yaşam döngülerini sürdürebildiği tüm havza bileşenlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Orman alanları, akarsu koridorları ve sulak alanların birlikte yönetildiği bütünleşik koruma yaklaşımları, biyolojik çeşitliliğin sürdürülebilirliği açısından daha başarılı sonuçlar sağlayacaktır (Dudgeon et al., 2006; Çiçek et al., 2018).

Gelecekte iklim değişikliği, artan su talebi ve arazi kullanım baskılarının akarsu ekosistemleri üzerindeki etkilerinin daha da artması beklenmektedir (Görsel 1). Bu nedenle koruma stratejilerinin yalnızca mevcut bozulmaları gidermeye yönelik değil, aynı zamanda gelecekteki çevresel değişimlere karşı ekosistem dayanıklılığını artırmaya yönelik olması gerekmektedir. Ormanların korunması, doğal akarsu bağlantılarının sürdürülmesi, bilimsel temelli restorasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması ve biyolojik izleme çalışmalarının güçlendirilmesi; akarsu ekosistemlerinin ve balık biyolojik çeşitliliğinin korunmasında temel öncelikler olarak değerlendirilmelidir (Dudgeon et al., 2006; Isaak et al., 2015).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ormansızlaşma, akarsu ekosistemlerini etkileyen en önemli havza ölçekli antropojenik baskılardan biri olup, yalnızca orman alanlarının azalmasına değil, aynı zamanda hidrolojik süreçlerin, habitat yapısının ve biyolojik toplulukların değişmesine neden olmaktadır. Orman örtüsünün kaybı sonucunda yüzeysel akışın artması, infiltrasyon kapasitesinin azalması, sediment taşınımının hızlanması ve riparyan habitatların bozulması; akarsu ekosistemlerinin fiziksel ve ekolojik bütünlüğünü doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle ormansızlaşmanın etkileri, yalnızca karasal ekosistem kaybı olarak değil, havza–akarsu bağlantısı çerçevesinde değerlendirilmesi gereken karmaşık bir ekolojik süreç olarak ele alınmalıdır (Allan, 2004; Ellison et al., 2017).

Bu çalışmada değerlendirilen literatür, ormansızlaşmanın akarsu balık toplulukları üzerinde çok yönlü etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Habitat karmaşıklığının azalması, sediment baskısının artması, su sıcaklığındaki değişimler ve su kalitesindeki bozulmalar; özellikle çevresel toleransı düşük, habitat uzmanı ve dar yayılışlı türlerde popülasyon baskılarına neden olmaktadır. Buna karşılık, geniş ekolojik toleransa sahip geneli türler değişen çevre koşullarında avantaj sağlayarak topluluk yapısında belirgin değişimlere yol açabilmektedir. Bu durum, ormansızlaşmanın yalnızca tür sayısını değil, aynı zamanda balık topluluklarının fonksiyonel yapısını ve ekosistem işleyişini de etkilediğini göstermektedir (Karr, 1981; Villéger et al., 2010; Cantera et al., 2023).

Türkiye açısından değerlendirildiğinde, Anadolu'nun yüksek endemizm düzeyine sahip içsu balık faunası, habitat değişimlerine karşı özel bir koruma yaklaşımı gerektirmektedir. Birçok balık türünün belirli havzalara veya küçük akarsu sistemlerine sınırlı dağılım göstermesi, orman kaybı ve habitat bozulmalarının yerel ölçekte ciddi biyolojik çeşitlilik kayıplarına neden olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle Türkiye’de akarsu biyolojik çeşitliliğinin korunmasında tür odaklı yaklaşımların yanı sıra, türlerin yaşam alanlarını ve ekolojik süreçleri koruyan havza temelli yönetim anlayışının benimsenmesi gerekmektedir (Çiçek et al., 2018; Tarkan et al., 2015).

Akarsu ekosistemlerinin sürdürülebilirliği için öncelikli uygulamalardan biri, doğal orman örtüsünün ve akarsu kenarı riparyan bölgelerin korunmasıdır. Riparyan alanların devamlılığı; sediment kontrolü, su sıcaklığının düzenlenmesi, organik madde girdisinin sürdürülmesi ve habitat çeşitliliğinin korunması açısından kritik öneme sahiptir. Bu nedenle orman koruma politikalarının yalnızca karasal biyolojik çeşitliliği değil, aynı zamanda sucul ekosistemlerin devamlılığını da hedeflemesi gerekmektedir (Sweeney & Newbold, 2014; Richardson & Béraud, 2014).

Gelecekte uygulanacak koruma ve yönetim çalışmalarında aşağıdaki yaklaşımların öncelikli olarak değerlendirilmesi önerilmektedir:

- **Havza ölçekli entegre yönetim yaklaşımlarının geliştirilmesi:** Orman, su kaynakları, tarım alanları ve akarsu ekosistemleri birlikte değerlendirilmelidir.
- **Riparyan tampon bölgelerin korunması ve yeniden oluşturulması:** Akarsu kenarı bitki örtüsünün devamlılığı sağlanmalıdır.

- **Biyolojik izleme çalışmalarının artırılması:** Balık toplulukları, makroomurgasızlar ve habitat göstergeleri kullanılarak uzun dönemli değerlendirmeler yapılmalıdır.
- **Ekolojik restorasyon uygulamalarının yaygınlaştırılması:** Bozulmuş akarsu habitatlarında doğal hidrolojik ve morfolojik süreçler desteklenmelidir.
- **Türkiye'ye özgü endemik balık türleri için havza temelli koruma planları hazırlanmalıdır.**

Sonuç olarak, ormansızlaşmanın akarsu ekosistemleri ve balık toplulukları üzerindeki etkileri, birbirleriyle ilişkili fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin sonucudur. Ormanların korunması, akarsu habitat bağlantılarının sürdürülmesi ve bilimsel temelli restorasyon çalışmalarının uygulanması; hem sucul biyolojik çeşitliliğin korunması hem de ekosistem hizmetlerinin devamlılığı açısından temel öncelikler arasında yer almaktadır. Gelecekte sürdürülebilir su yönetimi politikalarının başarısı, orman–havza–akarsu sistemlerinin bir bütün olarak ele alınmasına bağlı olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] Acil gündem. (2024). <https://www.acilgundem.com.tr/blog/2024/10/14/ormansizlasma> (Erişim tarihi: 20.07.2026)
- [2] Allan, J. D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122>
- [3] Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5583-6>
- [4] Başkent, E. Z., Keleş, S., & Kadioğulları, A. İ. (2008). Challenges in developing and implementing forest management planning in Turkey. *Environmental Management*, 42, 100–116. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9099-2>
- [5] Başkent, E. Z., Keleş, S., & Kadioğulları, A. İ. (2014). *Challenges in developing and implementing a decision support systems (ETÇAP) in forest management planning: A case study in Honaz and Ibradı, Turkey*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(Suppl. 1), 1–11. DOI:10.1080/02827581.2013.822543
- [6] Bosch, J. M., & Hewlett, J. D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 55(1–4), 3–23. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(82\)90117-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(82)90117-2)
- [7] Cantera, I., Jézéquel, C., Dejean, T., Murienne, J., Vigouroux, R., Valentini, A., & Brosse, S. (2023). Functional responses to deforestation in fish communities inhabiting neotropical streams and rivers. *Ecological Processes*, 12, 52. <https://doi.org/10.1186/s13717-023-00463-8>
- [8] Çepel, N. (2008). *Ekolojik sorunlar ve çözümleri*. Ankara: Tübitak Yayınları.

- [9] Çiçek, E., Birecikligil, S. S., & Fricke, R. (2018). Freshwater fishes of Turkey: A revised and updated annotated checklist. *Zootaxa*, 4343(4), 451–476. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4343.4.1>
- [10] Çevreni koru. (2026). <https://ceverenikoru.com/balik-turleri-ve-balik-turlerini-koruma/> (Erişim tarihi: 17.07.2026)
- [11] Dudgeon, D., Arthington, A. H., Gessner, M. O., Kawabata, Z. I., Knowler, D. J., Lévêque, C., ... Sullivan, C. A. (2006). Freshwater biodiversity: Importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- [12] Ellison, D., Morris, C. E., Locatelli, B., Sheil, D., Cohen, J., Murdiyarso, D., Gutierrez, V., van Noordwijk, M., Creed, I. F., Pokorny, J., Gaveau, D., Spracklen, D. V., Tobella, A. B., Ilstedt, U., Teuling, A. J., Gebrehiwot, S. G., Sands, D. C., Muys, B., Verbist, B., ... Sullivan, C. A. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43, 51–61. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.01.002>
- [13] Freyhof, J., Ekmekçi, F. G., Ali, A., Khamees, N. R., Özuluğ, M., Hamidan, N., Küçük, F., & Smith, K. G. (2014). Freshwater fishes. In K. G. Smith, V. Barrios, W. R. T. Darwall, & C. Numa (Eds.), *The status and distribution of freshwater biodiversity in the Eastern Mediterranean* (pp. 19–42). IUCN.
- [14] Fricke, R., Eschmeyer, W. N., & Van der Laan, R. (2023). *Catalog of Fishes: Genera, Species, References*. California Academy of Sciences.
- [15] Güçlü, S. S. (2020). Ichthyofauna of Düzce province (Turkey): Population and habitat evaluation. *Acta Aquatica Turcica*, 16(2), 179–188. <https://doi.org/10.22392/actaqua.623207>
- [16] Haase, P., Hering, D., Jähnig, S. C., Lorenz, A. W., & Sundermann, A. (2013). The impact of hydromorphological restoration on river ecological status: A comparison of fish and macroinvertebrate responses. *Hydrobiologia*, 704, 475–488. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1255-1>
- [17] Isaak, D. J., Young, M. K., Nagel, D. E., Horan, D. L., & Groce, M. C. (2015). The cold-water climate shield: Delineating refugia for preserving salmonid fishes through the 21st century. *Global Change Biology*, 21(7), 2540–2553. <https://doi.org/10.1111/gcb.12879>
- [18] Karr, J. R. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6(6), 21–27. [https://doi.org/10.1577/1548-8446\(1981\)006<](https://doi.org/10.1577/1548-8446(1981)006<)
- [19] Küçük, F., Turan, D., Güçlü, S. S., Mutlu, A. G., & Çiftçi, Y. (2017). Two new species of *Chondrostoma* Agassiz, 1832 (Teleostei: Cyprinidae) from the Ceyhan, Seyhan and Göksu Rivers in the East Mediterranean Region of Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(4), 795–803. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_4_15
- [20] Lorion, C. M., & Kennedy, B. P. (2009). Riparian forest buffers mitigate the effects of deforestation on fish assemblages in tropical headwater streams. *Ecological Applications*, 19(2), 468–479. <https://doi.org/10.1890/08-0050.1>

- [21] OGM. (2021). *Türkiye Orman Varlığı*. Ankara: Orman Genel Müdürlüğü.
- [22] OGM. (2026). <https://www.ogm.gov.tr/tr/e-kutuphane-sitesi> (Erişim tarihi: 20.07.2026)
- [23] Palmer, M. A., Menninger, H. L., & Bernhardt, E. (2010). River restoration, habitat heterogeneity and biodiversity: A failure of theory or practice? *Freshwater Biology*, 55, 205–222. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02372.x>
- [24] Pont, D., Hugueny, B., Beier, U., Goffaux, D., Melcher, A., Noble, R., Rogers, C., Roset, N., & Schmutz, S. (2006). Assessing river biotic condition at a continental scale: A European approach using functional metrics and fish assemblages. *Journal of Applied Ecology*, 43(1), 70–80. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01126.x>
- [25] Richardson, J. S., & Béraud, S. (2014). Effects of riparian forest harvest on streams: A meta-analysis. *Journal of Applied Ecology*, 51(6), 1712–1721. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12332>
- [26] Sweeney, B. W., & Newbold, J. D. (2014). Streamside forest buffer width needed to protect stream water quality, habitat, and organisms: A literature review. *Journal of the American Water Resources Association*, 50(3), 560–584. <https://doi.org/10.1111/jawr.12203>
- [27] Tarkan, A. S., Marr, S. M., & Ekmekçi, F. G. (2015). Non-native and translocated freshwater fish species in Turkey: Status, threats and management. *Aquatic Invasions*, 10(3), 283–298. <https://doi.org/10.3391/ai.2015.10.3.04>
- [28] TEMA. (2026). <https://topraktema.org/bolum/neden-yok-oluyor/ormansizlasma> (Erişim tarihi: 20.07.2026)
- [29] Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1), 130–137. <https://doi.org/10.1139/f80-017>
- [30] Villéger, S., Miranda, J. R., Hernández, D. F., & Mouillot, D. (2010). Contrasting changes in taxonomic vs. functional diversity of tropical fish communities after habitat degradation. *Ecological Applications*, 20(6), 1512–1522. <https://doi.org/10.1890/09-1310.1>
- [31] Walters, D. M., Leigh, D. S., Freeman, M. C., Freeman, B. J., & Pringle, C. M. (2003). Geomorphology and fish assemblages in a Piedmont river basin, U.S.A. *Freshwater Biology*, 48(11), 1950–1970. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2003.01137.x>
- [32] Wohl, E., Lane, S. N., & Wilcox, A. C. (2015). The science and practice of river restoration. *Water Resources Research*, 51, 5974–5997. <https://doi.org/10.1002/2014WR016874>
- [33] Wood, P. J., & Armitage, P. D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management*, 21(2), 203–217. <https://doi.org/10.1007/s002679900019>

PENETROMETER USE IN AGRICULTURE

Hüseyin Ramazanov¹, Sezai Delibacak²

¹ Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Soil Science and Plant Nutrition, huseynrams1@gmail.com, ORCID: 0009-0009-2766-8717

² Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Soil Science and Plant Nutrition, sezai.delibacak@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5041-0604

Abstract

Soil compaction is one of the major physical constraints affecting plant growth, root development, water movement, aeration, and nutrient uptake in agricultural systems. The intensive use of heavy agricultural machinery, improper tillage practices, field traffic under unsuitable moisture conditions, and grazing pressure may increase soil mechanical resistance. As a result, root elongation may be restricted, water infiltration can decrease, and crop productivity may decline. A penetrometer is a practical tool used to measure soil penetration resistance and to determine the presence, depth, and severity of compacted soil layers. In agricultural fields, penetrometer measurements are useful for identifying hardpans, determining tillage depth, improving irrigation and drainage management, supporting precision agriculture, and promoting sustainable soil management. This paper discusses the agricultural use of penetrometers, including measurement principles, application areas, advantages, limitations, and future perspectives based on scientific literature.

Keywords: penetrometer, soil compaction, penetration resistance, root development, sustainable agriculture

1. Introduction

Soil compaction is a major physical problem that directly affects plant growth, root development, water movement, aeration, and nutrient uptake in modern agricultural systems. The use of heavy agricultural machinery, inappropriate tillage practices, field operations carried out under unsuitable moisture conditions, and grazing pressure can increase soil mechanical resistance. This situation limits the deep penetration of plant roots and may lead to yield losses. A penetrometer is a practical and rapid measurement tool used to determine the presence, depth, and severity of soil compaction by measuring soil penetration resistance. In agricultural fields, penetrometer data provide important information for identifying compacted layers, determining appropriate tillage depth, planning irrigation and drainage, supporting precision agriculture practices, and improving sustainable soil management. Soil is the main basis of plant production and one of the most important natural resources determining agricultural productivity through its physical, chemical, and biological properties. Degradation of soil structure can cause not only short-term yield reductions but also long-term declines in

soil quality. Soil compaction is one of these degradation processes and is a common problem, especially in modern farming systems with intensive mechanization. Soil compaction can be described as the rearrangement of soil particles into a denser structure, resulting in reduced pore volume and increased mechanical resistance. This condition restricts root growth, limits water movement into the soil profile, and negatively affects aeration. A penetrometer helps identify compacted layers by measuring the mechanical resistance of the soil. According to ASABE standards, the cone index is defined as the force per unit base area required to push the penetrometer tip through a specified increment of soil, and cone size should be reported together with the measured value (ASABE, 2013). The penetrometer is important not only for detecting hardened layers but also for making more accurate agricultural management decisions. For example, once the depth of a compacted layer has been identified, subsoiling or deep ripping can be applied only to the required depth and only where needed. This reduces fuel consumption, lowers labor costs, and prevents unnecessary soil disturbance.

2. Penetrometer Definition and Working Principle

A penetrometer is a device that measures the resistance encountered as a metal cone of known diameter and angle is pushed into the soil. The measured value is generally expressed in psi, kPa, or MPa. The cone penetrometer is the most common type used in agriculture. Its basic principle is to quantify the mechanical resistance that the soil offers against the cone tip. Penetration resistance is not determined only by soil compaction; soil moisture, texture, organic matter content, bulk density, clay content, and soil structure also affect the results. Therefore, soil moisture should always be considered when interpreting penetrometer measurements. Resistance may be high in dry soils even when a serious compaction problem is not present. Studies indicate that penetration resistance should be evaluated together with water content, bulk density, and soil texture to obtain more reliable results (Moraes et al., 2014; Klonowski et al., 2024).

3. Purposes of Penetrometer Use in Agricultural Fields

3.1. Determination of Soil Compaction

The most common agricultural use of a penetrometer is the determination of soil compaction. Heavy tractors, harvesters, irrigation equipment, and other agricultural machinery create high pressure on the soil. Field operations performed when the soil is wet may cause the formation of compacted layers in the subsoil. Penetrometer measurements can be used to determine the depth at which compaction begins and ends. Practical guides and scientific studies commonly refer to 300 psi, approximately 2 MPa, as a threshold associated with restricted root growth; however, this limit may vary depending on soil type, soil moisture, root channels, and plant species (Duiker, 2025; Bengough et al., 2011; Klonowski et al., 2024).

3.2. Assessment of Root Development

Plant roots must overcome a certain level of mechanical resistance to reach water and nutrients in the soil. As soil resistance increases, the rate of root elongation decreases. In layers with very high penetration resistance, roots may grow horizontally or remain concentrated near the surface. This limits the plant's access to deep soil water, especially during dry periods. Research has shown that high soil penetration resistance can make the root system shallower, which negatively affects water uptake and plant growth. Therefore, penetrometer measurements are an important tool for diagnosing problems related to root development (Bengough et al., 2011; Colombi et al., 2018; Moraes et al., 2014).

3.3. Determining Tillage Depth

A penetrometer allows farmers and agricultural engineers to determine the appropriate tillage depth. If the compacted layer is located at a depth of 25-30 cm, shallow plowing will not solve the problem.

Conversely, unnecessary deep tillage in areas without compaction increases costs and can damage soil structure. Therefore, the penetrometer is an important decision-support tool for conservation tillage and precision agriculture. According to the measurement results, mechanical intervention can be applied only in the required areas and at the required depth.

3.4. Irrigation and Drainage Management

Soil compaction limits water infiltration and movement through the soil profile. Compacted layers reduce infiltration, increase surface runoff, and may cause waterlogging in some areas. Penetrometer measurements can be used to evaluate the effect of compaction in fields with drainage problems. In irrigated agricultural fields, compacted layers prevent the uniform distribution of water in the root zone. This both reduces water-use efficiency and increases stress conditions in plants. Therefore, penetrometer use contributes to more informed irrigation planning.

4. Factors to Consider in Penetrometer Measurements

For penetrometer measurements to be reliable, several conditions should be considered. First, soil moisture should be recorded during measurement. Measurements taken on different days in the same field may produce different results because of moisture differences. Therefore, measurement time and soil moisture conditions should be standardized in comparative studies. Second, measurement points should represent the field. Within a field, tractor wheel tracks, turning areas, areas near irrigation canals, and crop rows may have different compaction levels. Therefore, a single measurement point cannot represent the entire area. Third, the device should be pushed into the soil at a steady and slow speed. Sudden pressure may cause erroneous readings. Digital penetrometers can record data more consistently, whereas manual

penetrometers are more affected by operator technique (Moraes et al., 2014; Naderi-Boldaji & Keller, 2016).

5. Interpretation of Penetrometer Data in Agricultural Production

The interpretation of values obtained from penetrometer measurements depends on plant species, soil moisture, soil texture, and the agricultural system. In general, low penetration resistance indicates more favorable conditions for root development, while high resistance values indicate a risk of compaction.

Table 1. General interpretation of penetration resistance values in agricultural areas

Penetration resistance	General assessment	Agricultural significance
0-1 MPa	Low resistance	Root development is generally favorable
1-2 MPa	Moderate resistance	Root development may be restricted in some sensitive crops
2-3 MPa	High resistance	Root development may become considerably difficult
Above 3 MPa	Very high resistance	Compaction and root restriction are strong

These values should be used only for general evaluation purposes. Under field conditions, no firm decision should be made without considering soil moisture, especially because moisture strongly affects penetration resistance. In many studies, penetration resistance around 2 MPa is considered a critical limit for root development, but this threshold may vary according to plant species, soil structure, and pore continuity (Bengough et al., 2011; Sinnett et al., 2008; Klonowski et al., 2024).

6. Penetrometer Types and Technological Developments

Penetrometers used in agriculture can generally be classified as manual, mechanical, electronic, digital, and tractor-mounted systems. Manual penetrometers are more economical and easily portable; however, measurement results are more affected by the operator. Digital penetrometers can record depth-related data more regularly. In recent years, GPS-supported and data-recording penetrometers have gained importance with the development of precision agriculture technologies. These systems allow penetration resistance measured at different points in the field to be mapped. Thus, compacted areas can be determined spatially, and variable-depth tillage practices can be planned. Recent studies published in 2024 and 2025 on probe design, precision agriculture, and compaction prediction indicate that this field is

developing within digital agriculture (Klonowski et al., 2024; Janbazialamdari et al., 2025).

7. Advantages of Using a Penetrometer

The most important advantage of a penetrometer is that it provides rapid and practical information. The presence of compacted layers in the soil profile can be determined in a short time. In addition, the portable nature of the device allows it to be used easily in different fields. Another advantage is that it supports more economical tillage decisions. Unnecessary deep tillage wastes fuel, time, and labor. By identifying the compacted layer with a penetrometer, intervention can be carried out only where necessary. This approach reduces production costs and contributes to sustainable agriculture. Penetrometer data can also be used in long-term soil health monitoring studies. Measurements repeated at regular intervals in the same areas help show the effects of soil management practices on soil physical quality.

8. Limitations of Penetrometer Use

Although the penetrometer is an important diagnostic tool, it is not sufficient on its own to make a definitive decision. Measurement values are strongly influenced by soil moisture. Resistance may be high in dry soils and lower in moist soils. Therefore, measurement results should be evaluated together with bulk density, moisture content, texture, organic matter, and root observations. In addition, natural cracks, biological pores, and earthworm channels may occur in some soils. In such cases, plant roots may continue to develop by using these macropores even when high penetration resistance is measured. For this reason, penetrometer results should be supported by field observations rather than interpreted as a stand-alone diagnosis (Duiker, 2025; Moraes et al., 2014).

9. Future Research Areas

Penetrometer technology is expected to become increasingly integrated with digital and precision farming systems. GPS-supported penetrometer measurements allow soil compaction maps to be created. These maps can be used for variable-depth tillage, controlled traffic farming, and regional irrigation management. In future research, it will be important to evaluate penetrometer data together with soil moisture sensors, remote sensing data, yield maps, and machine learning models. In this way, not only soil compaction but also areas with potential yield-loss risk can be predicted in advance.

10. Conclusions

The penetrometer is an important measurement tool for determining soil compaction in agricultural areas and supporting sustainable soil management. Measuring soil penetration

resistance helps identify layers that restrict root development, select the appropriate tillage depth, and prevent unnecessary mechanical interventions. However, penetrometer measurements should not be evaluated alone; soil moisture, bulk density, texture, organic matter content, and plant growth should be interpreted together. When used correctly, penetrometers provide farmers, agricultural engineers, and researchers with practical and valuable information about soil physical quality. When integrated with precision agriculture technologies, the penetrometer becomes a more strategic tool for increasing agricultural productivity, reducing costs, and protecting soil resources.

References

- ASABE. (2013). Procedures for using and reporting data obtained with the soil cone penetrometer (ASAE EP542 FEB1999 (R2013)). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Bengough, A. G., McKenzie, B. M., Hallett, P. D., & Valentine, T. A. (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, 62(1), 59-68. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq350>
- Colombi, T., Torres, L. C., Walter, A., & Keller, T. (2018). Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth: A vicious circle. *Science of the Total Environment*, 626, 1026-1035. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.129>
- Duiker, S. W. (2025). Diagnosing soil compaction using a penetrometer (soil compaction tester). Penn State Extension.
- Janbazialamdari, S., Flippo, D., Ridder, E., & Brokesh, E. (2025). Soil compaction prediction in precision agriculture using cultivator shank vibration and soil moisture data. *Agriculture*, 15(17), 1896. <https://doi.org/10.3390/agriculture15171896>
- Klonowski, J., Lisowski, A., Dąbrowska, M., Chlebowski, J., Sypuła, M., & Zychowicz, W. (2024). The usefulness of soil penetration resistance measurements for improving the efficiency of cultivation technologies. *Sustainability*, 16(16), 6962. <https://doi.org/10.3390/su16166962>
- Moraes, M. T., Silva, V. R. da, Zwirter, A. L., & Carlesso, R. (2014). Use of penetrometers in agriculture: A review. *Engenharia Agrícola*, 34(1), 179-193. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000100019>
- Naderi-Boldaji, M., & Keller, T. (2016). Degree of soil compactness is highly correlated with the soil physical quality index S. *Soil and Tillage Research*, 159, 41-46. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.01.010>
- Sinnett, D., Morgan, G., Williams, M., & Hutchings, T. R. (2008). Soil penetration resistance and tree root development. *Soil Use and Management*, 24(3), 273-280. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00164.x>

PRUNING WASTE COMPOSTING: A COMPARATIVE REVIEW OF PROCESSES, PROPERTIES, AND APPLICATIONS

Tumaris URAZBAYEVA

Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Soil
Science and Plant Nutrition

urazbaevatumaris@gmail.com - ORCID: 0000-0002-3976-2948

Sezai DELİBACAK

Ege University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Soil
Science and Plant Nutrition

sezai.delibacak@ege.edu.tr - ORCID: 0000-0001-5041-0604

ABSTRACT

The amount of pruning waste is one of the largest fractions of green waste. Composting of pruning waste has the potential to be a sustainable option for the recycling of lignocellulosic materials into a stable fertilizer. This review has attempted to summarize the research on the composting of pruning waste with a comparison of the physicochemical properties, the importance of particle size, and the different composting processes. The research has shown that the particle size of the pruning waste materials, the C/N ratio, and aeration play a vital role in the composting of pruning waste materials. The addition of bulking agents and nutrient sources improves the quality of the compost. The complex nature of the pruning waste materials, which contain a high amount of lignin and cellulose, also poses a challenge in the composting of the materials. Future studies on the composting of pruning waste materials should be directed towards optimizing the parameters through modeling and microbial enrichment.

Keywords: *pruning waste, composting, particle size, organic waste management*

1. INTRODUCTION

The worldwide spread of orchard systems, vineyards, and forest management has led to a significant amount of pruning residues, mostly composed of woody material from branches, stems, and twigs that are pruned seasonally in agricultural crops, especially in Mediterranean regions where agricultural activities are dominant. The amount of pruning residues can range from several tons per hectare, depending on the type of crops grown and the level of management.

Pruning residues are mostly composed of lignocellulosic materials, such as cellulose, hemicellulose, and lignin, and are known to be more recalcitrant to microbial degradation, especially because of the presence of lignin, a key component that allows plants to withstand microbial attack.

However, it has been observed that proper management strategies have still not been implemented effectively, and burning pruning wastes have become a common phenomenon that results in pollution due to the emission of particulate matter into the atmosphere. However, composting has been found to be effective in the conversion of wastes into a humified form that has the ability to improve fertility, structure, and water retention capacity in soil.

Previous studies carried out on composting pruning wastes have found that it is not possible to determine the maturity of compost by considering its chemical properties. However, it would be better to determine the maturity of compost by considering microbiological respiration rates, C/N ratios, and enzyme activity to determine the maturity of compost (Benito et al., 2003).

Further studies carried out on composting green wastes have found that there are seasonal changes in the electrical conductivity, nutrient content, and organic matter in green wastes compost. Therefore, it has been necessary to monitor the process (Benito et al., 2006).

Although numerous studies have been carried out on composting green wastes, very few review articles have been carried out on pruning wastes, which have their own physicochemical properties and degradability.

2. PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND DEGRADATION DYNAMICS OF PRUNING RESIDUES

2.1. Structural Composition of Pruning Residues

Pruning residues' composition is primarily composed of woody materials, which are rich in lignocellulosic materials. The structural composition is generally composed of the following:

- Cellulose: 35–50%
- Hemicellulose: 20–30%
- Lignin: 15–30%

This is because the higher lignin content in pruning residues resists microbial degradation, given its cross-linked structure that protects the cellulose fibers from hydrolysis (Berg and McClaugherty, 2020).

Pruning residues' carbon-to-nitrogen ratios are generally higher, ranging from 40 to 80, and this may affect microbial growth if no nitrogen-rich materials are added during the composting process (Zhang and Chen, 2022).

Mechanical shredding is considered a key operation in the process, given that it increases the surface area, allowing for microbial growth.

2.2. Carbon Mineralization and Nitrogen Transformations

In the process, the oxidation of the organic carbon is achieved slowly, leading to the formation of carbon dioxide and the stabilization of the humic acids. The process of mineralization of the carbon is slowed down in the course of the composting process.

Experiments that have been conducted on the process of incubation indicated that raw pruning compost has the ability to temporarily immobilize the nitrogen in the soil when added to the

soil. However, the mature compost has been indicated to have the ability to release the mineral forms of the nitrogen, which can be used by the plants (Benito et al., 2005a).

In addition, the stability of the compost has been indicated to influence the process of microbial activities in the soils. The use of the stabilized woody compost has been indicated to enhance the organic carbon content in the soils, the structure of the soils, and the microbial biomass activity in the agricultural soils (Pizzeghello et al., 2021).

2.3. Physicochemical Characteristics of Pruning Waste Compost

The physicochemical properties of pruning compost depend on the materials used, methods of composting, and maturity stages of the compost. Table 1 presents the physicochemical properties of pruning compost, which have been reported by different authors.

Table 1. Typical physicochemical characteristics of pruning waste compost reported in literature

Parameter	Typical Range	Significance in Composting
pH	7.5 – 8.5	Slightly alkaline conditions typical for woody compost; influences microbial activity
C/N ratio	22 – 48 (mature compost)	Indicates stabilization; values below 20–25 suggest maturity
Organic matter	45 – 70%	Reflects high lignocellulosic content
Electrical conductivity	1 – 4 dS m ⁻¹	Indicates soluble salt content; excessive EC may cause phytotoxicity
Bulk density	0.35 – 0.60 g cm ⁻³	Determines aeration and suitability as growing media
Cation exchange capacity	60 – 120 cmol kg ⁻¹	Reflects nutrient retention capacity

The data was compiled from open access literature on the physicochemical properties of pruning waste compost (Benito et al., 2005b; Benito et al., 2006).

The physicochemical properties of the compost indicate that the compost has good structural properties for its utilization. However, the C/N ratio of the pruning waste compost was high compared to other composts.

3. COMPOSTING TECHNOLOGIES

3.1. Windrow Composting

Windrow composting is still the dominant technique in large-scale processing of pruning residues. In this technique, organic materials are stacked in rows and turned to improve oxygen and temperature distribution in the materials.

This turning is important because microbial oxidation in the composting process has a high demand for oxygen, and if this is not provided, there is a potential for the formation of odors and a decrease in the rate of decomposition.

Studies on co-composting pruning residues with sewage sludge or manure have shown that there is a potential for improving the availability of nitrogen and the rate of decomposition (Moretti et al., 2015).

In windrow composting, there is a potential for variability in nutrient content, depending on seasonal changes in materials and management conditions in the process.

3.2. Static Pile Systems

In static pile composting, composting takes place in a pile, and there is minimal turning of the compost. Aeration takes place through the use of ventilation systems.

This method of composting is crucial since, even though it helps in cutting down on labor and fuel costs, insufficient aeration will lead to a slow rate of stabilization of the compost, especially for dense woody materials (Miguel et al., 2022).

This is because structural bulking materials need to be present, and moisture management has to be considered.

3.3. Vermicomposting

Vermicomposting is the biological process where earthworms break down the waste materials and increase the activity of the microorganisms, thereby increasing the humification of the waste.

Research on the use of pruning vermicompost has proven that it increases the physical structure, nutrient content, and growth of the plants compared to the use of conventional compost (Morales-Corts et al., 2014).

However, earthworms are not able to withstand high temperatures, so the waste should undergo the thermophilic process before vermicomposting.

4. CO-COMPOSTING STRATEGIES

Pruning residues are mostly used as bulking agents in a composting mix because of their fiber characteristics.

Woody residues can be used when a composting process is carried out on nitrogen-rich residues such as sewage sludge and food wastes (Benito et al., 2009).

Comparative studies have shown that leaves can decompose faster than woody pruning residues when used as bulking agents in a composting mix because of their low lignin content. However, woody pruning residues have better structural stability during a composting process.

Some investigations on nutrient enrichment strategies have been carried out. For example, phosphate rock can be used as a nutrient enrichment material during a composting process on olive pruning residues so that phosphorus can be enriched in the final product and increase its value.

5. AGRONOMIC PERFORMANCE AND GROWING MEDIA APPLICATIONS

The practice of pruning waste compost as a substitute for peat in horticulture has been a success. This is because the practice of peat collection has adverse effects on the environment.

In the experiments on the growth of plants carried out on ornamental crops, it has been found that a mixture of the waste compost can produce a good structure, water retention capacity, and nutrient availability when matured properly (Benito et al., 2005c).

In addition, it has been found that the substrates of the compost can enhance the level of microbial activity in the soil when used in agriculture.

6. ENVIRONMENTAL IMPLICATIONS

This process of composting pruning wastes is an important aspect in the management of wastes in a sustainable manner by reducing landfill wastes and preventing the greenhouse effect by anaerobic decomposition.

Some of the other environmental benefits include:

- Recycling of nutrients in agriculture
- Soil structure and water retention
- Soil carbon sequestration

However, some issues have been identified in the process. The loss of nitrogen in ammonia form may limit the nutrient value in composting, and inadequate aeration may cause methane emissions (Boldrin et al., 2009).

Therefore, monitoring and measuring the process are essential.

7. RESEARCH GAPS AND FUTURE DIRECTIONS

Despite the fact that a lot of progress has been achieved in the area of waste composting from pruning wastes, there are still some gaps in the research that need to be filled in the future. These include:

- The absence of standard maturity parameters for lignocellulosic composts (Bernal et al., 2009).
- The absence of factorial design-based investigations on combined effects of particle size, aeration rates, and nitrogen additions.
- The absence of long-term field-based investigations on agronomic performance.
- The absence of investigations on greenhouse gas production during woody residue composting.

In the future, the area of waste composting from pruning wastes should include microbial ecology, process engineering, and life cycle analysis for increased efficiency in the systems.

8. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

Pruning waste composting is one of the promising ways of utilizing lignocellulosic wastes to produce valuable organic materials in the bio-based economy.

Despite the fact that the rate of decomposition of woody materials is slower than that of other organic wastes, the optimization of the process can greatly enhance the rate of decomposition of the wastes.

Windrow composting remains the most viable option for scaling up the process, whereas vermicomposting can be employed to enhance the quality of the final product in the maturation stage of the process.

The development of maturity tests as well as environmental tests is of significant importance in the progress of the utilization of pruning wastes in agricultural practices (Bernal et al., 2009).

REFERENCES

- [1] Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., and Arrigo, N. (2003). *Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost*, Biology and Fertility of Soils, 37(4), pp. 184–189.
- [2] Benito, M., Masaguer, A., and Moliner, A. (2005a). *Carbon mineralization of pruning wastes compost at different stages of composting*, Compost Science & Utilization, 13(4), pp. 260–268.
- [3] Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., and Arrigo, N. (2005b). *Evaluation of maturity and stability of pruning waste compost and their effect on carbon and nitrogen mineralization in soil*, Soil Science, 170(5), pp. 360–370.
- [4] Benito, M., Masaguer, A., De Antonio, R., and Moliner, A. (2005c). *Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media*, Bioresource Technology, 96(5), pp. 597–603.
- [5] Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., and De Antonio, R. (2006). *Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability*, Bioresource Technology, 97(16), pp. 2071–2076.
- [6] Moretti, S. M. L., Bertoncini, E. I., and Abreu-Junior, C. H. (2015). *Composting sewage sludge with green waste from tree pruning*, Scientia Agricola, 72(5), pp. 432–439.
- [7] Pizzeghello, D., Francioso, O., Concheri, G., Muscolo, A., and Nardi, S. (2021). *Wood-based compost affects soil fertility and the content of available nutrients in agroecosystems*, Agronomy, 11(3), Article 518.
- [8] Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., and Moral, R. (2009). *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review*, Bioresource Technology, 100(22), pp. 5444–5453.
- [9] Zhang, Y., and Chen, M. (2022). *Study on dynamic changes of microbial community and lignocellulose transformation mechanism during green waste composting*, Engineering in Life Sciences, 22(5), pp. 376–390.
- [10] Berg, B., and McClaugherty, C. (2020). *Plant Litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration (4th ed.)*, Springer Nature, Berlin/Heidelberg.
- [11] Miguel, N., López, A., Jojoa-Sierra, S. D., Fernández, J., Gómez, J., and Ormad, M. P. (2022). *Physico-chemical and microbiological control of the composting process of the organic fraction of municipal solid waste: A pilot-scale experience*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(23), Article 15449.

- [12] Morales-Corts, M. R., Gómez-Sánchez, M. Á., and Pérez-Sánchez, R. (2014). *Evaluation of green/pruning wastes compost and vermicompost, slungum compost and their mixes as growing media for horticultural production*, Scientia Horticulturae, 172, pp. 155–160.
- [13] Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., Hontoria, C., and Almorox, J. (2009). *Dynamics of pruning waste and spent horse litter co-composting as determined by chemical parameters*, Bioresource Technology, 100(2), pp. 497–500.
- [14] Boldrin, A., Andersen, J. K., Møller, J., Christensen, T. H., and Favoino, E. (2009). *Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions*, Waste Management & Research, 27(8), pp. 800–812.

SİYAH ASKER SİNEĞİ (*Hermetia illucens* L.) GÜBRESİNİN FARKLI UYGULAMA DOZLARININ MARUL (*Lactuca sativa* L.) GELİŞİMİ VE BESİN ELEMENTİ ALINIMINA ETKİSİ

Ziraat Müh. İBRAHİM KÜRŞAT BÜLBÜL

EGE ÜNİVERSİTESİ, FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ

BESLEME ANABİLİM DALI

91240000736@ogrenci.ege.edu.tr- 0000-0002-9724-8699

Doç. Dr. NERİMAN TUBA BARLAS

EGE ÜNİVERSİTESİ ZİRAAT FAKÜLTESİ TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ

BESLEME BÖLÜMÜ, 35100 İZMİR, TÜRKİYE

tuba.barlas@ege.edu.tr – 0000-0002-2971-4977

ÖZET

Bu çalışmada, özellikle hayvan yemi hammaddesi olarak kullanım potansiyeline sahip siyah asker sineğinin (*Hermetia illucens* L.; SAS) gübresinin, bitki gelişimi ve besin elementi içeriğine etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda tesadüf blokları deneme desenine göre 5 tekrarlamalı olarak kurulan denemede test bitkisi olarak Iceberg çeşidi marul (*Lactuca sativa* L.) bitkisi kullanılmıştır.

Deneme başlangıcında topraklara %0, %2.5, %5.0, %10.0 ve %20.0 (v/v) dozlarında SAS gübresi uygulanarak, 45 günlük yetiştiricilik dönemi sonunda dozların etkileri bitki büyüme (bitki boyu, yaprak sayısı, yaş ve kuru ağırlık) ve besin elementi alımı (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn ve Zn) açısından karşılaştırılmıştır.

Üst aksam kuru ve yaş ağırlıkları bakımından en yüksek değerlere (5.17 g/bitki / 91.60 g/bitki) %10 uygulama dozunda ulaşılmıştır.

Kök makro (N (%2.92), P (%0.50), K (%4.54), Ca (%1.59), Mg (%0.48), Na (338 mg/kg)) ve mikro element (Fe (101.2), Zn (37.8), Cu (15.6), Mn (35.2) mg/kg) içerikleri %20.0 uygulama dozunda en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Yaprakların P içeriğinde en yüksek değerlere %10.0 ve %20.0 uygulama dozlarında (sırasıyla %0.59 ve %0.60) ulaşarak her iki doz da aynı istatistiksel grupta yer almıştır. En yüksek K içeriği %4.96 ile %20.0 uygulama dozunda, Mg içeriği ise %10.0 dozunda %0.36 saptanmıştır.

Araştırma sonucunda, %5 ve %10 uygulama dozları üst aksam biyokütlesi açısından en olumlu sonuçları vermiş olup, bu düzeylerin optimum büyüme için uygun olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bitki Besleme, Gübre, *Hermetia illucens* L., Marul, Siyah Asker Sineği¹

¹ Bu bildiri, İbrahim Kürşat Bülbul'ün yüksek lisans tez çalışması kapsamında elde edilen verilere dayanmaktadır. Çalışma, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 33123 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

**EFFECTS OF DIFFERENT APPLICATION RATES OF BLACK SOLDIER FLY
(*Hermetia illucens* L.) FRASS ON THE GROWTH AND NUTRIENT UPTAKE OF
LETTUCE (*Lactuca sativa* L.)**

Agricultural Eng. İBRAHİM KÜRŞAT BÜLBÜL

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION, GRADUATE SCHOOL
OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES, EGE UNIVERSITY
91240000736@ogrenci.ege.edu.tr- 0000-0002-9724-8699

Assoc. Prof. Dr. NERİMAN TUBA BARLAS

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE AND PLANT NUTRITION, FACULTY OF
AGRICULTURE, EGE UNIVERSITY, 35100 İZMİR, TÜRKİYE
tuba.barlas@ege.edu.tr – 0000-0002-2971-4977

ABSTRACT

This study evaluated the effects of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.; BSF) frass—a promising animal feed byproduct—on plant growth and nutrient content. Iceberg lettuce (*Lactuca sativa* L.) was grown for 45 days in a randomized complete block design with five replicates, using soil amended with 0%, 2.5%, 5.0%, 10.0%, and 20.0% (v/v) BSF frass. Treatments were evaluated for growth parameters (height, leaf number, fresh and dry weights) and nutrient uptake (N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Mn, Zn).

The 10.0% application rate yielded the highest shoot fresh (91.60 g/plant) and dry weights (5.17 g/plant). Root macro-nutrients (N: 2.92%, P: 0.50%, K: 4.54%, Ca: 1.59%, Mg: 0.48%, Na: 338 mg/kg) and micro-nutrients (Fe: 101.2, Zn: 37.8, Cu: 15.6, Mn: 35.2 mg/kg) peaked at the 20.0% rate. For leaf nutrients, the highest P content occurred at 10.0% and 20.0% (0.59% and 0.60%, respectively; statistically equivalent), whereas maximum K (4.96%) and Mg (0.36%) contents were observed at 20.0% and 10.0%, respectively.

In conclusion, the 5.0% and 10.0% BSF frass application rates were most effective for shoot biomass, making them optimal for lettuce growth.

Keywords: Plant Nutrition, Fertilizer, *Hermetia illucens* L., Lettuce, Black Soldier Fly²

² This conference paper is based on data generated as part of İbrahim Kürşat Bülbül's M.Sc. thesis research. The study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Ege University under Project No. 33123.

YAĞLI TOHURLU BİTKİLERDE GÖRÜLEN ÖNEMLİ BAKTERİYEL HASTALIKLAR

Dr. Öğr. Üyesi Utku ŞANVER

Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü
utkusanver@siirt.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-5373-2924

ÖZET

Yağlı tohumlu bitkiler, bitkisel yağ üretiminin temelini oluşturmakta ve dünya genelinde stratejik bir öneme sahip bulunmaktadır. Bu bitkilerde çeşitli bakteriyel etmenlerin neden olduğu hastalıklar, uygun çevre koşullarında önemli düzeyde verim ve kalite kayıplarına yol açabilmektedir. Bu çalışmada, yağlı tohumlu bitkilerde ekonomik açıdan öne çıkan başlıca bakteriyel hastalıklar; etmenleri, belirtileri, epidemiyolojik özellikleri ve mücadele yöntemleri bakımından değerlendirilmiştir. İncelenen etmenler arasında yerfıstığında bakteriyel solgunluğa neden olan *Ralstonia solanacearum*; susam, hardal ve hint yağı bitkisinde yaprak lekesi ve yanıklıklara yol açan farklı *Xanthomonas* ve *Pseudomonas* türleri; ayçiçeğinde apikal kloroza neden olan *Pseudomonas syringae* pv. *tagetis* ile sap ve tabla çürüklüğünden sorumlu *Pectobacterium* türleri; ve zeytinde ur oluşumuyla karakterize edilen *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* öne çıkmaktadır. Değerlendirilen hastalıkların büyük bölümü; etmenin tohum ve bitki artıklarında canlı kalması, yağmur ve sulama suyuyla yayılması ve gibi ortak epidemiyolojik özellikler göstermektedir. Bu bağlamda etkili bir mücadele; sertifikalı ve hastalıksız tohum kullanımı, tarla hijyeni, uygun münavebe, tolerant çeşitlerin tercih edilmesi ve gereksinim duyulduğunda bakırlı bileşikler uygulamalarını içeren yaklaşımlar önerilmektedir. Çalışmada, yağlı tohumlu bitkilerin bakteriyel hastalıklarına ilişkin mevcut bilgiyi derli toplu biçimde sunarak, bu alandaki uygulamalı çalışmalara ve ileri araştırmalara katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yağlı tohumlu bitkiler, Bakteriyel hastalıklar, Mücadele yöntemleri

1. GİRİŞ

Yağlı tohumlu bitkiler, tohumlarında yaklaşık %18–50 oranında yağ biriktiren ve bu özellikleriyle bitkisel yağ sanayisinin hammaddesini oluşturan kültür bitkileridir. Bu ürün grubunun tarımsal üretim içindeki ayrıcalıklı konumu, tek bir üretim sürecinden iki farklı stratejik ürünün elde edilmesinden kaynaklanmaktadır. Birincisi doğrudan insan beslenmesinde kullanılan yemeklik bitkisel yağ, ikincisi ise kırma işlemi sonrasında geriye kalan ve hayvancılığın temel protein kaynağını oluşturan küspedir. Son yıllarda bitkisel yağların biyodizel üretiminde de değerlendirilmesiyle birlikte, bu grup enerji sektörünün de hammadde kaynakları arasına girmiştir [1].

Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı verilerine göre dünya yağlı tohum üretimi 2025/26 sezonunda yaklaşık 692 milyon ton ile rekor düzeye ulaşmış, kırma hacmi ise 580 milyon ton olarak öngörülmüştür. Üretimin yaklaşık %61,6'sını soya, %13,2'sini kolza, %8'ini ayçiçeği oluşturmakta; ilk beş ürün toplam üretimin yaklaşık %92'sini karşılamaktadır [1].

Üretimin sınırlı sayıda ülkede yoğunlaşmış olması, bu ürün grubunu arz şoklarına ve fiyat dalgalanmalarına karşı duyarlı hâle getirmektedir.

Türkiye açısından tablo, ürün bazında belirgin biçimde farklılaşmaktadır. Ayçiçeği yağı yurt içinde en çok tüketilen yemeklik yağ olmasına karşın üretim tüketimi karşılayamamakta; uzun yıllar boyunca ihtiyacının %60–65’ini kendi üretiminden sağlayan Türkiye’de kendine yeterlilik oranı son dönemde %50’li düzeylere gerilemiş, ortaya çıkan açık tohum ve ham yağ ithalatıyla kapatılmaya çalışılmaktadır [2]. Buna karşılık zeytinde tablo daha olumludur; 2024/25 sezonunda yaklaşık 475 bin ton zeytinyağı üretimiyle Türkiye İspanya’nın ardından dünya ikincisi, 750 bin ton sofralık zeytin üretimiyle ise dünya birincisi konumuna yükselmiştir [3]. Ancak zeytinde periyodisiteye bağlı olarak rekoltenin yıldan yıla belirgin biçimde dalgalanması, hastalık kaynaklı ek kayıpların telafisini güçleştirmektedir.

Bitkisel yağ açığının kapatılmasının sürdürülebilir yolu, ekim alanlarının sınırsız biçimde genişletilmesinden değil, birim alandan elde edilen verimin ve kalitenin korunmasından geçmektedir. Bu noktada bitki sağlığı sorunları belirleyici bir rol üstlenmektedir. Yağlı tohumlu bitkilerde fungal hastalıklar üzerine yürütülen çalışmalar görece yoğun olmakla birlikte, bakteriyel etmenler çoğu zaman ikinci planda kalmaktadır. Oysa fitopatojen bakterilerin dört temel özelliği, bu etmenleri üretim açısından kritik hâle getirmektedir: tohum ve dikim materyali ile taşınabilmeleri, uygun ekolojik koşullarda son derece hızlı epidemi geliştirebilmeleri, enfekte olmuş dokuyu iyileştiren küratif bir kimyasal mücadele seçeneğinin bulunmaması ve sahada sıklıkla fungal hastalıklarla ya da besin elementi noksanlıklarıyla karıştırılmalarıdır [4].

Bu çalışmanın amacı, yağlı tohumlu bitkilerde ekonomik önemi bulunan başlıca bakteriyel hastalıkları; etmen özellikleri, belirtileri, hastalık döngüleri ve mücadele yaklaşımları bakımından bütüncül biçimde değerlendirmek, bu hastalıkların ortak epidemiyolojik özelliklerini ortaya koymak ve buradan hareketle uygulanabilir bir entegre mücadele çerçevesi sunmaktır. Çalışma, konuya ilişkin uluslararası literatürün ve güncel üretim istatistiklerinin taranmasına dayanan bir derleme niteliğindedir.

2. YAĞLI TOHURLU BİTKİLERDE GÖRÜLEN BAŞLICA BAKTERİYEL HASTALIKLAR

2.1. Yer Fıstığında Bakteriyel Solgunluk

Yer fıstığında (*Arachis hypogaea* L.) bakteriyel solgunluğa *Ralstonia solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al. neden olmaktadır. Etmen literatürde *Pseudomonas solanacearum* ve *Burkholderia solanacearum* sinonimleriyle de anılmaktadır. Hastalık özellikle Çin, Endonezya ve Vietnam’da yer fıstığı üretiminin başlıca kısıtlarından biri olup, verim kayıpları yaygın olarak %10–30 arasında değişmekte, ağır bulaşık tarlalarda %60’ı aşabilmektedir. Yalnızca Çin’de yaklaşık 0,2 milyon hektarlık alanın bulaşık olduğu bildirilmiştir [5, 6].

Belirtiler ekimden iki-üç hafta sonra ortaya çıkmakta; ilk işaret bir veya birkaç yaprakta görülen hafif pörsüme ve kıvrılmadır. İlerleyen dönemde bitkiler uç kısımdan eğilmekte, kurumakta, kahverengileşerek ölmektedir. Enfekteli bitkilerin kök ve meyvelerinde renk

değişimi ve çürüme gözlenir. Hastalığın ayırt edici tanı özelliği, ksilem ve özde görülen koyu kahverengi renk değişimi ile kesit yüzeyinden gelen bakteriyel akıntıdır [5].

Etmen aerobik, sporsuz, çomak şeklinde ve Gram negatif bir bakteri olup hücreleri yaklaşık $0,5 \times 1,5 \mu\text{m}$ boyutlarındadır. Virulent izolatlar genellikle flagellasız ve hareketsizken, avirulent izolatlar bir-dört polar flagellaya sahip ve oldukça hareketlidir. Etmen floresan pigment üretmemekle birlikte, tirozin içeren besiyerlerinde kahverengi difüze bir pigment oluşturmaktadır. Bakteri 25–35 °C arasındaki geniş bir sıcaklık aralığında gelişebilmekte; bulaşık toprak, su ve tohum aracılığıyla yayılmaktadır [5, 7]. Teşhiste dört haftalık yaprak-sürgün parçalarının ve tohumların tetrazolyum klorür agar besiyerine doğrudan ekimi kullanılmaktadır [8]. Konukçu dizisinin *Capsicum* spp., *Solanum tuberosum*, *Solanum lycopersicum*, *Nicotiana* spp. ve *Musa* spp. gibi çok sayıda kültür bitkisini kapsayacak biçimde geniş olması, münavebeye dayalı mücadeleyi önemli ölçüde güçleştirmektedir.

2.2. Susamda Bakteriyel Yanıklık ve Bakteriyel Yaprak Lekesi

Susamda (*Sesamum indicum* L.) ekonomik önemi bulunan iki bakteriyel hastalık bulunmaktadır. Bunlardan ilki *Xanthomonas campestris* pv. *sesami*'nin neden olduğu bakteriyel yanıklıktır. Bitki tüm gelişme dönemlerinde duyarlı olup, belirtiler önce yaprağın alt yüzünde su ile ıslanmış küçük ve düzensiz lekeler biçiminde başlamakta, ardından üst yüzeye geçmektedir. Lekeler büyüdükçe damarlarla sınırlanmakta, köşeli bir görünüm kazanmakta ve koyu kahverengiye dönüşmektedir. Birleşen lekeler düzensiz kahverengi yanıklık alanları oluşturmakta; yapraklar kurumakta, gevrekleşmekte ve şiddetli enfeksiyonlarda dökülmektedir [5].

Hastalığın ekonomik önemi büyük ölçüde kapsüller üzerindeki etkisinden kaynaklanmaktadır. İleri dönemde lezyonlar sürgünlere ve kapsüllere ulaşmakta, bu kapsüller zayıf kalmakta ve içindeki tohumlar dolmamakta, olgunlaşmamaktadır. Ağır bulaşık tarlalarda kayıp %60'a kadar çıkabilmektedir. Epidemiyolojinin iki anahtar bileşeni bulunmaktadır: birincil inokulum kaynağını bulaşık tohum ve bitki artıkları oluşturmakta, ikincil yayılım ise yağmur suyu ve sıçrama ile gerçekleşmektedir. Bakteri bitki artıklarında, yabancı otlarda ve tohumda dört-altı ay canlılığını koruyabilmektedir [5].

Susamdaki ikinci hastalık, *Pseudomonas syringae* pv. *sesami* kaynaklı bakteriyel yaprak lekesidir. Bu hastalıkta lekeler damar boyunca uzanan, açık kahverengi ve köşeli yapıdadır; en karakteristik özellik lekelerin koyu mor renkli kenarıdır. Bu özellik, hastalığın *Xanthomonas* kaynaklı yanıklıktan ayırt edilmesinde kullanılabilecek pratik bir ölçüttür. Kapsüllerde çökük ve parlak lekeler oluşmakta, erken dönemde enfekte olan kapsüller siyahlaşarak tohumuz kalmaktadır. Her iki hastalığın döngüsü ve mücadelesi büyük ölçüde örtüşmekte; bitki artıklarının uzaklaştırılıp imha edilmesi, münavebe, sertifikalı tohum kullanımı, T-58 gibi dayanıklı çeşitlerin tercih edilmesi ve tohum uygulaması önerilmektedir [5].

2.3. Ayçiçeğinde Apikal Kloroz

Ayçiçeğinde (*Helianthus annuus* L.) apikal kloroza *Pseudomonas syringae* pv. *tagetis* neden olmaktadır. Hastalığın en ayırt edici özelliği, herhangi bir lezyon oluşmaksızın yalnızca kloroz görülmesidir. Tüm vejetatif gelişme dönemlerinde ortaya çıkabilmekle birlikte fidelerde

çok daha sık ve şiddetlidir. Başlangıçta yaprağın yalnızca bir bölümü klorotik hâle gelmekte, ancak sonradan oluşan yapraklar damarlar dahil tümüyle sararmaktadır. Fide enfeksiyonlarında sistemik kloroz sekiz haftaya ve sekiz-on yaprağa kadar uzayabilmekte, klorotik yapraklarda iyileşme hiçbir zaman gözlenmemektedir [9, 10].

Uygulamada en sık yapılan hata, hastalığın demir klorozu veya azot noksanlığı ile karıştırılmasıdır. Ayırt edici ölçüt açıktır: mineral noksanlıklarında yaprak damarları yeşil kalırken, apikal klorozda kloroz üniformdur ve bitkilerde iyileşme görülmez. Etmen Gram negatif, oksidaz negatif ve floresan özellikte olup, kültür bitkilerinin yanı sıra çok sayıda yabancı ot üzerinde epifit olarak bulunabilmekte ve toprakta canlılığını sürdürebilmektedir. Yayılım yağmur ve sulama suyu sıçraması, aerosoller ve bulaşık toprağın hareketiyle gerçekleşmektedir. Tohumla geçiş oldukça belirgindir; yedi tohum partisinin altısında hastalığın ortaya çıktığı, incelenen 330 bitkinin %21'inin ekimden dört hafta sonra sistemik klorotik olduğu bildirilmiştir [9]. Mücadelede en az üç yıllık münavebe, aşırı sulamadan ve taban suyu yüksek topraklardan kaçınma ile tohuma streptosiklin uygulaması önerilmektedir.

2.4. Ayçiçeğinde Bakteriyel Gövde ve Tabla Çürüklüğü

Hastalığın etmeni, güncel sınıflandırmada *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* ve *Pectobacterium carotovorum* subsp. *atrosepticum* olarak adlandırılan pektolitik bakterilerdir. Gövde çürüklüğünün başlangıç belirtileri birçok fungal gövde çürüklüğüne benzemekte; su ile ıslanmış lezyonlar ve koyu kahverengiden siyaha dönen çizgiler görülmektedir. Ayırt edici işaret, dokular yumuşadıkça ortaya çıkan karakteristik çürük patates kokusudur. Gövde özü siyah ve sulu hâle gelmekte, çürüme gövdeyi içten boşaltmakta ve bitkiler olgunlaşan tablanın ağırlığıyla yatmaktadır. Bakterinin bitki şekerlerini fermente etmesi sonucu enfekteli dokularda köpük oluşumu gözlenebilmektedir [5].

Tabla çürüklüğünde birleşen lezyonlar sulu yumuşak çürüklüğe dönüşmekte, tabla koyu kahverengileşmekte ve dokular içinde mukoz bakteri kitleleri bulunmaktadır. Epidemiyolojik açıdan belirleyici olan husus, enfeksiyonun gerçekleşebilmesi için mutlaka mekanik bir yaranın bulunması gerekliliğidir. Böcek zararı, kuş zararı veya dolu yaralanmaları patojen için giriş kapısı oluşturmaktadır. Enfeksiyonlar genellikle uzun yağışlı dönemlerin ardından, geç sezonda ve suyun biriktiği yaprak koltuklarında başlamaktadır. Mücadele tümüyle kültürel önlemlere dayanmakta; patates, soğan ve havuç gibi konukçu bitkilerle münavebeden kaçınılması, sebze alanlarından gelen drenaj suyunun sulamada kullanılmaması ve sıkı sanitasyon önerilmektedir [5].

2.5. Ayçiçeği ve Aspirde *Pseudomonas syringae* Kaynaklı Yaprak Lekeleri

Ayçiçeğinde *Pseudomonas syringae* pv. *helianthi*'nin neden olduğu bakteriyel yaprak lekesinde enfeksiyonlar, küçük ve köşeliden dairesiye değişen nekrotik lekelerle başlamakta; bu lekeler çoğunlukla sarı bir hale ile çevrilmiştir. Şiddetli durumlarda lekeler birleşerek geniş yaprak alanlarının ölümüne ve yaprak dökümüne yol açmaktadır. Bir önceki bölümde ele alınan apikal kloroz ile arasındaki ayrım tanı açısından önemlidir: pv. *helianthi* püskürtme yoluyla yapılan inokulasyonlarda yaprakta köşeli lezyonlar oluşturmakta ancak apikal kloroz meydana getirmemekte; pv. *tagetis* ise püskürtme inokulasyonunda lezyon oluşturmamaktadır [5, 10].

Aspirde (*Carthamus tinctorius* L.) görülen yaprak lekesi ve gövde yanıklığında tablo daha ağırdır. Lezyonlar yaprak, gövde ve yaprak saplarında koyu ve su ile ıslanmış biçimde başlamakta, zamanla kırmızı kahverengiye dönüşerek nekrozlaşmakta ve çoğu kez soluk sarı ya da koyu kahverengiden siyaha değişen bir kenar oluşturmaktadır. Uç tomurcuğun ölmesi ve yaprak sapı içindeki çürüklüğün toprak seviyesinin altına, köklere kadar ilerlemesi karakteristiktir. Şiddetli enfeksiyonlar bitki ölümüne yol açabilmekle birlikte, sıcak ve kurak koşulların dönmesiyle bitkilerde kısmi toparlanma görülebilmektedir. Enfeksiyon 30 °C'nin altındaki serin ve yağışlı havalarda, özellikle sert rüzgârlı yağmurlarda kolaylaşmakta; patojen fiğ gibi yabancı otlarda, bitki artıklarında ve bulaşık tohumda barınmakta, tarlalar arasında ekipman ve işçilerle de taşınabilmektedir [5].

2.6. Hardal ve Diğer Brassica Türlerinde Yaprak Lekesi ve Siyah Çürüklük

Hardalda *Xanthomonas campestris* pv. *armoraceae* kaynaklı yaprak lekesi, *Pseudomonas syringae* pv. *maculicola* ile birlikte turp, hardal ve yaprak lahanası gibi *Brassica* türlerinde önemli bulunmuştur. Yapraklarda açık kahverengi lekeler oluşturarak fotosentez alanını daraltmakta, ancak ekonomik önemi görece düşük kabul edilmektedir. Uygulamada dikkat edilmesi gereken husus, *Cercospora* yaprak lekesine karşı kullanılan fungusitlerin bu bakteriyel lekelerde etkisiz kalmasıdır. Bakır hidroksit, bakır sülfat ve bitki savunma aktivatörü asibenzolar-S-metil, koruyucu ve düzenli uygulandığında kısmi başarı sağlayabilmektedir [11].

Grubun asıl önemli hastalığı, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* kaynaklı siyah çürüklüktür. Fidelerde kotiledon kenarında sararma, büzüşme ve döküm; olgun yapraklarda ise kenardan içeri doğru ilerleyen V şeklinde sararma görülmektedir. Lezyon büyüdükçe damarlar belirgin biçimde siyahlaşmaktadır. Hastalığın *Fusarium* sarılığından ayrımı bu noktada yapılmaktadır; *Fusarium* sarılığında damarlar kahverengi kalmaktadır. Gövde enine kesildiğinde karakteristik siyah halka gözlenir. Bakteri, bitki artıkları bozulmadığı sürece bir-iki yıl canlılığını koruyabilmekte ve tohumla uzun mesafelere taşınabilmektedir. Bitkiye esas giriş kapısı yaprak kenarındaki su gözenekleri (hidatotlar) olup, 26–30 °C ve nemli koşullar hastalığı teşvik etmektedir [12].

Mücadelede sertifikalı tohum kullanımı ve tohuma 52 °C'de sıcak su uygulaması, malçlama, drenajı yetersiz topraklardan ve yağmurlama sulamadan kaçınma, yağışlı havalarda tarla işlemlerinin yapılmaması, turpgil yabancı otların kontrolü, hasat sonrası bitki artıklarının imhası ve en az iki yıllık münavebe önerilmektedir. Ticari olarak temin edilebildiği durumlarda dayanıklı çeşit kullanımı, hastalığın en etkili kontrol yöntemi olarak öne çıkmaktadır [12, 13].

2.7. Hint Yağı Bitkisi ve Yağ Palmiyesinde Bakteriyel Hastalıklar

Hint yağı bitkisinde (*Ricinus communis* L.) *Xanthomonas campestris* pv. *ricinicola* kaynaklı bakteriyel yaprak lekesi, Hindistan'daki üretim alanlarının tamamında yaygındır. Patojen kotiledon, yaprak ve damarlara saldırarak küçük, yuvarlak ve su ile ıslanmış lekeler oluşturmakta; bu lekeler sonradan köşelileşerek koyu kahverengiden mürekkep siyahına dönüşmektedir. Lekeler genellikle yaprak ucuna doğru yoğunlaşmakta, birleştiklerinde çevredeki doku soluk kahverengi ve gevrek hâle gelmektedir. Tanı açısından önemli bir işaret, yaprağın her iki yüzünde küçük parlak boncuklar ya da ince pullar biçiminde görülen bakteriyel akıntıdır. Bakterinin gelişme optimumu 31 °C, termal ölüm noktası ise 51 °C'dir; bu değer

tohumu uygulanan 58–60 °C’de 10 dakikalık sıcak su uygulamasının dayanağını oluşturmaktadır [5, 13].

Yağ palmyesinde (*Elaeis guineensis* Jacq.) *Erwinia* türlerinin neden olduğu bakteriyel tomurcuk çürüklüğünde, mızrak yaprağın sapı ve rakisinde kahverengileşme, ıslak çürüklük, solgunluk ve kloroz görülmektedir. Yapraklar taçtan sarkmakta; enfeksiyon tomurcuğa ulaştığında tomurcuk çürüyüp kokuşmakta ve palmye ölmektedir. Bu yönüyle hastalık ölümcül niteliktedir. Kolombiya, Kosta Rika, Demokratik Kongo Cumhuriyeti, Ekvador, Nikaragua, Nijerya, Panama ve Güneydoğu Asya ülkelerinde görülmektedir. Mücadelede dayanıklı çeşitlerin dikimi, bakterinin tomurcuğa ilerlemesini engellemek amacıyla çürüyen mızrak yaprak dokusunun uzaklaştırılması ve tomurcukların bakır esaslı preparatlarla korunması önerilmektedir [5, 14].

2.8. Zeytinde Dal Kanseri

Zeytinde (*Olea europaea* L.) dal kanserine *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* neden olmakta olup, hastalık dünyadaki tüm zeytin yetiştiriciliği yapılan bölgelerde yaygındır. Karakteristik belirti, enfeksiyon noktalarında oluşan urlardır. Urlar en sık yaprak nodlarında, yani yaprak izlerinin bakteriyle enfekte olduğu bölgelerde meydana gelmekte; bununla birlikte budama yaraları ile don ve dolu yaralanmaları da giriş kapısı oluşturmaktadır. Aşırı don zararı, yağışın düşük olduğu bölgelerde bile hastalık şiddetini artırmaktadır. Bakteri enfeksiyon bölgesinde bitki büyüme düzenleyicileri üretmekte, doku çoğalması ve ur oluşumu bu mekanizma üzerinden gerçekleşmektedir [15, 16].

Zarar açısından değerlendirildiğinde urlar sürgünleri boğarak öldürmekte, bu da doğrudan verim kaybına yol açmaktadır. Ayrıca meyve iriliği ve kalitesi olumsuz etkilenmekte; duysal testlerde az sayıda ur taşıyan ağaçların bile tat kusurlu yağ verebildiği gösterilmiştir [17]. Bu bulgu, hastalığın yalnızca miktar değil kalite açısından da önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Epidemiyolojide anahtar kavram epifit popülasyondur. Bakteri hem ur dokusunda hem de sürgün, yaprak ve meyve yüzeyinde epifit olarak yaşamakta; pürüzlü kabuk yüzeylerinde yapraklara kıyasla daha iyi barınmakta, bu nedenle popülasyon dallarda daha yüksek düzeyde bulunmaktadır. Bitki yüzeyindeki popülasyon yağışlı mevsimde artmakta ve ağaç başına düşen ur sayısı doğrudan epifit popülasyonun büyüklüğüyle ilişkili olmaktadır [18]. Duyarlılık pencereleri uygulama açısından belirleyicidir; budama yaraları en az 14 gün, yaprak izleri ise yaprak dökümünden sonra 7 gün boyunca enfeksiyona açık kalmaktadır. Kışın başlayan enfeksiyonlar ilkbahara kadar belirti vermemekte, bu latent dönem belirtisiz fidan satışı yoluyla patojenin uzun mesafelere taşınmasına ve bitki sağlığı kontrollerinden kaçmasına olanak tanımaktadır [15].

Mücadeleye ilişkin bir ayrımın netleştirilmesi gerekmektedir. Zeytinde ur oluşumu genellikle *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* kaynaklı olmakla birlikte, akraba bir bakteri olan *P. savastanoi* pv. *nerii* de zeytini enfekte edebilmektedir. *Nerium oleander* üzerinde ur oluşturmakta; hem zakkumu hem zeytini enfekte edebilirken, *Pseudomonas savastanoi* pv. *savastanoi* yalnızca zeytini enfekte etmektedir. Her iki hastalıkta da etkili yönetim, bitki yüzeyindeki patojen popülasyonunun düşürülmesine dayanmaktadır. Bu kapsamda hastalısız fidan kullanımı, urların uzaklaştırılması, aletlerin %10’luk sodyum hipoklorit çözeltisiyle

düzenli olarak sterilize edilmesi ve budamanın zamanlaması öne çıkmaktadır. Uurların kış ve ilkbahar yağışlı döneminde alınmaması, açılan yaraların yeni enfeksiyon kapısı oluşturmamasını engellemektedir; kuru yaz aylarında yapılan budama yaraları ise enfeksiyona duyarlı değildir. Ticari bahçelerde bakır esaslı bakterisitler entegre programın bir parçası olarak kullanılabilmektedir [15, 19].

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu derlemede ele alınan hastalıklar ve etmenleri Çizelge 1’de özetlenmiştir. Değerlendirilen on bir hastalığın etmenlerinin yalnızca dört ana cinste toplanması dikkat çekicidir. *Ralstonia*, *Xanthomonas*, *Pseudomonas* ve *Pectobacterium* cinsleri, farklı kültür bitkilerinde bu bitkilere özelleşmiş patovamları aracılığıyla hastalık oluşturmaktadır. Bu durum, teşhis ve mücadele stratejilerinin geliştirilmesi bakımından önemli bir avantaj sunmakta; benzer epidemiyolojik özelliklere sahip etmenlerin büyük ölçüde ortak kültürel önlemlerle yönetilebileceğini göstermektedir.

Çizelge 1. Yağlı tohumlu bitkilerde görülen başlıca bakteriyel hastalıklar ve etmenleri [5]

Kültür bitkisi	Hastalık	Etmen	Öne çıkan önlem
Yer fıstığı	Bakteriyel solgunluk	<i>Ralstonia solanacearum</i>	Sağlıklı tohum, sanitasyon
Susam	Bakteriyel yanıklık	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>sesami</i>	Sertifikalı tohum, münavebe
Susam	Bakteriyel yaprak lekesi	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>sesami</i>	Artıkların imhası, dayanıklı çeşit
Ayçiçeği	Apikal kloroz	<i>P. syringae</i> pv. <i>tagetis</i>	En az 3 yıllık münavebe
Ayçiçeği	Gövde ve tabla çürüklüğü	<i>Pectobacterium</i> spp.	Yaralanmanın önlenmesi
Ayçiçeği	Bakteriyel yaprak lekesi	<i>P. syringae</i> pv. <i>helianthi</i>	Sanitasyon, bakırlı uygulama
Aspir	Yaprak lekesi ve gövde yanıklığı	<i>Pseudomonas syringae</i>	Temiz tohum, yabancı ot kontrolü
Hardal	<i>Xanthomonas</i> yaprak lekesi	<i>X. campestris</i> pv. <i>armoraceae</i>	Koruyucu bakırlı uygulama
Hardal	Siyah çürüklük	<i>X. campestris</i> pv. <i>campestris</i>	Sıcak su uygulaması, dayanıklı çeşit
Hint yağı bitkisi	Bakteriyel yaprak lekesi	<i>X. campestris</i> pv. <i>ricinicola</i>	Sıcak su uygulaması (58–60 °C)
Yağ palmyesi	Bakteriyel tomurcuk çürüklüğü	<i>Erwinia</i> spp.	Dayanıklı çeşit, doku temizliği
Zeytin	Zeytin dal kanseri	<i>P. savastanoi</i> pv. <i>savastanoi</i>	Sağlıklı fidan, alet sterilizasyonu

İncelenen hastalıkların ortak epidemiyolojik özellikleri beş başlık altında toplanabilmektedir. Birincisi, etmenlerin neredeyse tamamının tohum veya dikim materyali ile taşınmasıdır. Yer fıstığında *Ralstonia*, susamda hem *Xanthomonas* hem *Pseudomonas*, ayçiçeğinde pv. *tagetis*, hardalda siyah çürüklük etmeni ve zeytinde latent enfeksiyonlu fidan bu duruma örnektir. Dolayısıyla sertifikalı ve sağlıklı üretim materyali, mücadelenin en etkili ve çoğu zaman en düşük maliyetli basamağını oluşturmaktadır.

İkincisi, bakterilerin bitki artıklarında uzun süre canlı kalabilmesidir. Susam yanıklığı etmeni artıklarda ve tohumda dört altı ay, siyah çürüklük etmeni ise bitki artıkları bozulmadığı sürece bir-iki yıl canlılığını korumaktadır. Bu nedenle hasat sonrası bitki artıklarının imhası ve yabancı ot kontrolü, tarladaki inokulum yükünü doğrudan azaltmaktadır.

Üçüncüsü, su ve yara yönetimidir. İncelenen hastalıkların hemen tamamında yayılım yağmur sıçraması, sulama suyu ve aerosoller aracılığıyla gerçekleşmekte; bitkiye giriş ise stoma ve hidatot gibi doğal açıklıklardan ya da yaralardan olmaktadır. Ayçiçeğinde gövde ve tabla çürüklüğünde mekanik yara zorunlu bir enfeksiyon koşuludur. Buna bağlı olarak yağmurlama sulamadan kaçınmak, yağışlı havalarda tarla işlemleri yapmamak ve mekanik yaralanmayı en aza indirmek etkili önlemler arasında yer almaktadır.

Dördüncüsü, münavebe ve çeşit dayanıklılığıdır. İki üç yıllık konukçu dışı münavebe ile dayanıklı veya tolerant çeşitlerin kullanımı, en sürdürülebilir mücadele araçları olarak öne çıkmaktadır. Nitekim siyah çürüklükte dayanıklı çeşit kullanımının en etkili yöntem olduğu bildirilmektedir. Buna karşılık ayçiçeğinde apikal kloroza karşı tam dayanıklı hat bulunmaması, ıslah çalışmalarının sürdürülmesi gerektiğini göstermektedir.

Beşincisi, kimyasal mücadelenin sınırlarıdır. Bakır esaslı preparatlar ve antibiyotikler koruyucu etkili olup, enfekte olmuş dokuyu iyileştirmemektedir. Ayrıca bitki korumada antibiyotik kullanımı, Türkiye de dahil olmak üzere birçok ülkede ruhsatlandırılmamıştır. Bu nedenle literatürde yer alan streptomisin ve oksitetrasiklin önerileri, ilgili çalışmaların yürütüldüğü ülkelerin uygulamalarını yansıtmakta olup, ulusal mevzuat çerçevesinde değerlendirilmelidir. Bakteriyel hastalıklarda ağırlığın kültürel ve önleyici uygulamalarda olması gerekliliği bu noktada bir kez daha belirginleşmektedir [4].

Ayrıca doğru teşhisin önemi vurgulanmalıdır. Ayçiçeğinde apikal klorozun demir klorozu ve azot noksanlığıyla, hardalda siyah çürüklüğün *Fusarium* sarılığıyla, ayçiçeğinde bakteriyel gövde çürüklüğünün ise fungal gövde çürüklükleriyle karıştırılabilmesi, üreticilerin etkisiz fungusit uygulamalarına yönelmesine ve mücadele için kritik olan zamanın kaybedilmesine neden olmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yağlı tohumlu bitkiler, bitkisel yağ ve yem sanayisinin ortak hammaddesi olmaları nedeniyle gıda güvenliği açısından stratejik bir konumda bulunmaktadır. Türkiye'nin bu ürün grubunda, özellikle ayçiçeğinde, önemli ölçüde dışa bağımlı olması, birim alandan elde edilen verimin ve kalitenin korunmasını ekonomik bir zorunluluk hâline getirmektedir.

Bu çalışmada ele alınan bakteriyel hastalıklar, tohumla taşınabilme, hızlı epidemi geliştirebilme, küratif kimyasal seçeneğin bulunmaması ve tanı güçlüğü özellikleriyle üretim

üzerinde doğrudan bir baskı oluşturmaktadır. Elde edilen değerlendirmeler, bu hastalıklarla mücadelenin tarla aşamasından önce, tohum ve dikim materyali seçimiyle başladığını göstermektedir.

Uygulamaya yönelik olarak şu önerilerde bulunulabilir: (i) sertifikalı ve hastalıktan ari tohum ile fidan kullanımı yaygınlaştırılmalı, sıcak su uygulaması gibi düşük maliyetli tohum sağlığı yöntemleri teşvik edilmelidir; (ii) hasat sonrası bitki artıklarının uzaklaştırılması ve yabancı ot kontrolü rutin uygulamalar hâline getirilmelidir; (iii) sulama yöntemi ve zamanlaması hastalık riski dikkate alınarak planlanmalı, yağmurlama sulamadan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır; (iv) en az iki üç yıllık konukçu dışı münavebe uygulanmalı ve dayanıklı çeşit ıslahına yönelik çalışmalar desteklenmelidir; (v) üretici düzeyinde tanı kapasitesinin artırılması amacıyla eğitim ve yayım faaliyetleri yürütülmelidir.

Gelecek çalışmalarda, Türkiye koşullarında bu etmenlerin yaygınlığının ve genetik çeşitliliğinin moleküler yöntemlerle ortaya konması, ayrıca antagonist bakteri ve biyolojik mücadele etmenlerine dayalı çevre dostu yaklaşımların geliştirilmesi öncelikli araştırma konuları olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] USDA-FAS, *Oilseeds: World Markets and Trade*, United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, Washington DC, 2025. <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade> (Erişim tarihi: 15.07.2026)
- [2] TEPGE, *Ayçiçeği Durum ve Tahmin Raporu 2025*, Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, Yayın No: 416, Ankara, 2025.
- [3] IOC, *World Olive Oil and Table Olive Figures*, International Olive Council, Madrid, 2025. <https://www.internationaloliveoil.org/> (Erişim tarihi: 15.07.2026)
- [4] Janse, J.D., *Phytopathology: Principles and Practice*, CABI Publishers, Cambridge, MA, 360 s., 2005.
- [5] Borkar, S.G. ve Yumlembam, R.A., *Bacterial Diseases of Crop Plants*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2016.
- [6] Mehan, V.K., Liao, B.S., Tan, Y.J. ve ark., *Bacterial Wilt of Groundnut*, Information Bulletin No. 35, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Hindistan, 28 s., 1994.
- [7] Anitha, K., Gunjotikar, G.A., Chakrabarty, S.K. ve ark., *Interception of Bacterial Wilt, Burkholderia solanacearum in Groundnut Germplasm Imported from Australia*, Journal of Oilseeds Research, 20, 101–104, 2003.
- [8] Prasada Rao, R.D.V.J., Gunjotikar, G.A., Chakrabarty, S.K. ve ark., *Detection of Ralstonia solanacearum in Seeds of Wild Arachis spp. Imported from Brazil*, Indian Journal of Plant Protection, 28, 51–56, 2000.

- [9] Trimboli, D., Fahy, P.C. ve Baker, K.F., *Apical Chlorosis and Leaf Spot of Tagetes spp. Caused by Pseudomonas tagetis Hellmers*, Australian Journal of Agricultural Research, 29, 831–839, 1978.
- [10] Hellmers, E., *Bacterial Leaf Spot of African Marigold (Tagetes erecta) Caused by Pseudomonas tagetis sp. n.*, Acta Agriculturae Scandinavica, 5, 185–200, 1955.
- [11] Damicone, J. ve Pierson, T., *Control of Bacterial Leaf Spot on Mustard Greens*, Oklahoma State University, Entomology and Plant Pathology, Stillwater, OK, 2009.
- [12] Onsando, J.M., *Black Rot of Crucifers*, Chaube, H.S., Kumar, J., Mukhopadhyay, A.N. ve Singh, U.S. (Ed.), Plant Diseases of International Importance, Vol. II: Diseases of Vegetables and Oil Seed Crops, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 243–252, 1992.
- [13] Nega, E., Ulrich, R., Werner, S. ve Jahn, M., *Hot Water Treatment of Vegetable Seed – An Alternative Seed Treatment Method to Control Seed Borne Pathogens in Organic Farming*, Journal of Plant Diseases and Protection, 110(3), 220–234, 2003.
- [14] Elliott, M.L., Broschat, T.K., Uchida, J.Y. ve ark., *Compendium of Ornamental Palm Diseases and Disorders*, American Phytopathological Society Press, St. Paul, MN, 2004.
- [15] Wilson, E.E., *The Olive Knot Disease: Its Inception, Development and Control*, Hilgardia, 9, 233–264, 1935.
- [16] Penyalver, R., García, A., Ferrer, A. ve ark., *Factors Affecting Pseudomonas savastanoi pv. savastanoi Plant Inoculations and Their Use for Evaluation of Olive Cultivar Susceptibility*, Phytopathology, 96, 313–319, 2006.
- [17] Schroth, M.N., Osgood, J.W. ve Miller, T.D., *Quantitative Assessment of the Effect of the Olive Knot Disease on Olive Yield and Quality*, Phytopathology, 63, 1064–1065, 1973.
- [18] Quesada, J.M., Penyalver, R., Panadés, J. ve ark., *Dissemination of Pseudomonas savastanoi pv. savastanoi Populations and Subsequent Appearance of Olive Knot Disease*, Plant Pathology, 59, 262–269, 2010.
- [19] Teviotdale, B.L. ve Krueger, W.H., *Effects of Timing of Copper Sprays, Defoliation, Rainfall and Inoculum Concentration on Incidence of Olive Knot Disease*, Plant Disease, 88, 131–135, 2004.

ACIL SERVİS HEMŞİRELERİNDE YORGUNLUK VE YORGUNLUĞU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Elif TURAN¹, Dr.Öğr. Üyesi Rabia Buse AYYILDIZ²

¹ İstanbul Atlas Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
E-posta: turanelif26@gmail.com • ORCID: 0009-0005-9133-6902

² İstanbul Atlas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, İstanbul, Türkiye
E-posta: buse.ayyildiz@atlas.edu.tr • ORCID: 0000-0001-6943-3187

Özet

Acil servisler; kesintisiz hizmet sunumu, değişken hasta yoğunluğu, kritik klinik durumların eş zamanlı yönetimi ve hızlı karar verme gerekliliği nedeniyle hemşirelerde yorgunluk gelişimi açısından riskli çalışma ortamlarıdır. Bu derlemenin amacı, acil servis hemşirelerinde yorgunluğu etkileyen bireysel, mesleki ve örgütsel faktörleri; yorgunluğun çalışan sağlığı, bakım kalitesi ve hasta güvenliği üzerindeki sonuçlarını ve yorgunluğun azaltılmasına yönelik yaklaşımları güncel literatür doğrultusunda değerlendirmektir. Anlatı derlemesi niteliğindeki çalışma için PubMed/MEDLINE, DergiPark ve ilgili kurumsal açık erişim kaynaklarında Türkçe ve İngilizce anahtar sözcüklerle tarama yapılmış; acil servis hemşireliği, mesleki yorgunluk, vardiyalı çalışma, uyku, iş yükü, hasta güvenliği, devir teslim, ilaç hataları ve merhamet yorgunluğu ile ilişkili yayınlar incelenmiştir. Literatür, uzun çalışma saatleri, gece vardiyaları, fazla mesai, yetersiz uyku, yüksek hasta yükü, personel yetersizliği, yoğun iş talepleri, düşük iş kontrolü, şiddet riski ve yetersiz dinlenme olanaklarının yorgunlukla ilişkili olduğunu göstermektedir. Yorgunluk; dikkat, bilişsel performans, klinik karar verme ve devir teslim etkinliğini olumsuz etkileyebilmekte; ilaç uygulama hataları ve diğer hasta güvenliği risklerine katkıda bulunabilmektedir. Yorgunluğun yönetiminde güvenli vardiya planlaması, yeterli personel, gerçek anlamda kullanılabilen dinlenme araları, uyku sağlığının desteklenmesi, psikososyal destek ve çalışanların yorgunluk bildirimini güvenle yapabildiği kurumsal kültür önemlidir. Sonuç olarak yorgunluk, bireysel bir yetersizlikten çok çalışan sağlığı, bakım kalitesi ve hasta güvenliği ile ilişkili kurumsal bir risk olarak ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Acil servis hemşireliği, yorgunluk, vardiyalı çalışma, hasta güvenliği, bakım kalitesi.

Abstract

Emergency departments are high-risk work environments for nurse fatigue because they provide uninterrupted care, face fluctuating patient volume, require simultaneous management of critical clinical conditions, and demand rapid decision-making. This review aimed to evaluate individual, occupational, and organizational factors associated with fatigue among emergency department nurses, the consequences of fatigue for worker health, quality of care, and patient safety, and approaches to fatigue reduction based on current evidence. For this narrative review, literature was searched through PubMed/MEDLINE, DergiPark, and relevant institutional open-access sources using Turkish and English terms related to emergency nursing, occupational fatigue, shift work, sleep, workload, patient safety, handover, medication

errors, and compassion fatigue. The literature indicates that long working hours, night shifts, overtime, insufficient sleep, high patient load, inadequate staffing, high job demands, low job control, risk of workplace violence, and insufficient opportunities for recovery are associated with fatigue. Fatigue may impair attention, cognitive performance, clinical decision-making, and handover effectiveness and may contribute to medication administration errors and other patient-safety risks. Effective fatigue management requires safe scheduling, adequate staffing, rest breaks that allow genuine detachment from work, support for sleep health, psychosocial support, and an organizational culture in which nurses can report fatigue without fear of blame. In conclusion, fatigue should be treated not as an individual weakness but as an organizational risk related to worker health, quality of care, and patient safety.

Keywords: Emergency nursing, fatigue, shift work, patient safety, quality of care.

1. Giriş

Acil servisler, sağlık sisteminin günün her saatinde kesintisiz hizmet veren; hasta sayısı, başvuru nedeni ve klinik ağırlığı önceden kesin olarak öngörülemeyen birimleridir. Acil servis hemşireleri triyaj, hızlı klinik değerlendirme, yaşam bulgularının izlenmesi, ilaç ve sıvı tedavilerinin uygulanması, resüsitasyon, hasta transferi ve devir teslim gibi çok sayıda görevi zaman baskısı altında yürütmektedir. Acil servis iş yükünün yalnız hasta sayısı ile değil hasta aciliyeti ve eş zamanlı görev gereksinimiyle de ilişkili olduğu gösterilmiştir (Clopton & Hyrkäs, 2020). Bu çalışma ortamı, hemşirelerin fiziksel ve bilişsel kaynaklarının vardiya boyunca yoğun biçimde kullanılmasına neden olmaktadır.

Yorgunluk, yalnızca “kendini yorgun hissetme” ile sınırlı olmayan; fiziksel kapasite, dikkat, bilişsel işleme, motivasyon ve duygusal dayanıklılığı etkileyebilen çok boyutlu bir durumdur. Hastane hemşirelerinde yapılan nitel çalışmalar, yorgunluğun çalışma kültürü ve “her koşulda dayanma” beklentisi nedeniyle görünmezleşebildiğini; çalışanların yorgunluk bildirmekte zorlanabildiğini göstermektedir (Steege & Rainbow, 2017). Acil servislerde ise düzensiz iş yükü, gece çalışması, sık kesintiler ve kritik karar gerektiren durumlar bu riski artırmaktadır.

Acil servis hemşirelerine özgü çalışmalar, yorgunluğun uyku süresi ve uykululukla birlikte bilişsel performansla ilişkili olduğunu (Wolf ve ark., 2017), yüksek iş talepleri ve düşük iş kontrolü gibi psikososyal özelliklerle uzamış yorgunluk arasında ilişki bulunduğunu (Al-Abdallah & Malak, 2019) ve yorgunluk arttıkça hasta devir teslim etkinliğinin azaldığını ortaya koymaktadır (Kaplan, 2024). Bunun yanında hemşire yorgunluğuna ilişkin sistematik derlemeler, yorgunluğun hem çalışan sonuçları hem hasta güvenliği hem de örgütsel sonuçlarla olumsuz ilişkiler gösterdiğini bildirmektedir (Cho & Steege, 2021). Bu nedenle acil servis hemşirelerinde yorgunluğun nedenlerinin ve sonuçlarının bütüncül biçimde ele alınması önemlidir.

Bu derlemenin amacı, acil servis hemşirelerinde yorgunluğu etkileyen bireysel, mesleki ve örgütsel faktörleri; yorgunluğun çalışan sağlığı, hasta güvenliği ve bakım kalitesi üzerindeki etkilerini ve yorgunluğun azaltılmasına yönelik uygulanabilir yaklaşımları güncel literatür ışığında değerlendirmektir.

2. Yöntem

Bu çalışma sistematik derleme değil, anlatı derlemesi niteliğindedir. Literatür taraması 20–23 Temmuz 2026 tarihleri arasında PubMed/MEDLINE, DergiPark ve ilgili kurumsal açık erişim kaynakları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde “acil servis hemşiresi”, “acil hemşireliği”, “yorgunluk”, “mesleki yorgunluk”, “vardiyalı çalışma”, “uyku”, “iş yükü”, “devir teslim”, “hasta güvenliği”, “ilaç hatası”, “merhamet yorgunluğu” ve bu kavramların İngilizce karşılıkları olan “emergency nurse”, “emergency nursing”, “fatigue”, “occupational fatigue”, “shift work”, “sleep”, “workload”, “handover”, “patient safety”, “medication error” ve “compassion fatigue” sözcükleri tek başına ve birlikte kullanılmıştır.

Öncelik 2015–2026 yılları arasında yayımlanan hakemli çalışmalara verilmiş; acil servis hemşireliği ve yorgunluk alanında doğrudan ilişkili olan daha eski temel çalışmalar gerektiğinde kapsamda tutulmuştur. Acil servis hemşirelerinde yorgunluk, iş yükü, uyku, vardiya düzeni, bilişsel performans, devir teslim, çalışan iyilik durumu, merhamet yorgunluğu ve hasta güvenliği sonuçlarını inceleyen çalışmalar ile hemşire yorgunluğuna yönelik sistematik/derleme çalışmalar değerlendirilmiştir. Ayrıca vardiyalı çalışma ve uzun çalışma saatlerinin yönetimine ilişkin güncel NIOSH/CDC kurumsal önerileri incelenmiştir. Çalışmaların bulguları; yorgunluğun kavramsal çerçevesi, etkileyen faktörler, hasta güvenliği ve bakım kalitesi üzerindeki etkiler ve yorgunluk yönetimi başlıkları altında anlatı biçiminde sentezlenmiştir.

3. Acil Servis Hemşirelerinde Yorgunluğun Kavramsal Çerçevesi

Hemşirelerde yorgunluk fiziksel, zihinsel ve duygusal bileşenleri bir arada içerebilir. Fiziksel yorgunluk; uzun süre ayakta kalma, yürüme, hasta taşıma ve pozisyon verme gibi bedensel talepler sonucunda güç ve dayanıklılığın azalmasıyla ortaya çıkabilir. Zihinsel yorgunluk ise uzun süre dikkat sürdürme, farklı hastalara ait bilgileri aynı anda izleme, klinik değişiklikleri fark etme ve hızlı karar verme gereksinimi sonucunda gelişebilir. Acil servislerde bu iki boyut çoğu zaman birbirinden ayrılmaz; yoğun fiziksel hareketlilik, bilişsel yük ve kesintiler aynı vardiya içinde birlikte yaşanır.

Yorgunluğun zaman boyutu da önemlidir. Yoğun bir vardiya sonrasında ortaya çıkan akut yorgunluk yeterli dinlenme ve uyku ile azalabilirken, vardiyalar arasında yeterli toparlanma gerçekleşmediğinde yorgunluk yeni vardiyaya taşınabilir ve kronikleşebilir. Türkiye’de farklı hastane türlerinde çalışan 597 hemşireyle gerçekleştirilen güncel bir araştırmada akut ve kronik yorgunluğun yüksek, vardiyalar arası toparlanmanın ise düşük düzeyde olduğu; iş yoğunlaşmasının akut ve kronik yorgunlukla pozitif, toparlanmayla negatif ilişkili olduğu gösterilmiştir (Güngör & Sönmez, 2025). Bu bulgu, yorgunluğun yalnızca toplam çalışma saatiyle değil, çalışma süresine sığdırılan talep yoğunluğuyla da ilişkili olduğunu göstermektedir.

Acil servis hemşirelerinde yorgunluk ile uykululuk birbiriyle ilişkili ancak aynı olmayan kavramlardır. Uykululuk uykuya eğilimi ifade ederken yorgunluk, fiziksel enerji kaybı ve bilişsel/duygusal kapasitede azalmayı da kapsar. Wolf ve arkadaşlarının (2017) acil servis hemşirelerinde yürüttüğü çalışmada bildirilen uyku, algılanan yorgunluk ve uykululuk değişkenlerinin bilişsel performansla ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle acil servislerde

yorgunluğu değerlendirirken yalnızca “kaç saat uyunduğu” değil, vardiya öncesi toparlanma, vardiya süresi, iş yükü ve öznel yorgunluk birlikte ele alınmalıdır.

Duygusal yük de acil servis yorgunluğunun önemli bir bileşenidir. Ani ölüm, ciddi travma, çocuk acilleri, yoğun ağrı, hasta yakını krizleri ve şiddet olaylarıyla karşılaşma, hemşirenin duygusal kaynaklarını zorlayabilir. Acil servis hemşirelerinde yapılan bir çalışmada merhamet yorgunluğunun çalışma süresi, mesleği isteyerek seçme, birim değiştirmeyi düşünme ve işten ayrılma düşüncesi gibi değişkenlerden etkilendiği bildirilmiştir (Başoğlu ve ark., 2024). Benzer biçimde acil servis çalışanlarında ikincil travmatik stres ve tükenmişlik ile psikolojik dayanıklılık arasında anlamlı ilişkiler saptanmıştır (Urşan ve ark., 2024). Dolayısıyla acil servis yorgunluğu, yalnız bedensel bir enerji sorunu olarak değil, bilişsel ve duygusal yüklenmeyle birlikte değerlendirilmelidir.

4. Yorgunluğu Etkileyen Faktörler

4.1. Bireysel Faktörler

Bireysel özellikler yorgunluğun ortaya çıkma biçimini ve toparlanma hızını etkileyebilir. Yaş, genel sağlık durumu, kronik hastalıklar, kas-iskelet sistemi yakınmaları, uyku kalitesi, aile ve bakım sorumlulukları ile çalışma dışındaki dinlenme olanakları bu kapsamda değerlendirilir. Ancak bireysel faktörler tek başına açıklayıcı değildir; aynı özelliklere sahip iki hemşire farklı iş yükü ve vardiya düzenlerinde farklı yorgunluk düzeyleri yaşayabilir.

Uyku süresi ve uyku kalitesi, özellikle vardiyalı çalışan hemşirelerde temel belirleyiciler arasındadır. Gece vardiyası, biyolojik olarak uyku eğiliminin arttığı saatlerde dikkat gerektiren işlerin sürdürülmesini zorunlu kılar. Vardiya sonrasında gündüz alınan uyku, çevresel ışık ve gürültü ile aile sorumlulukları nedeniyle daha kısa veya kesintili olabilir. Acil servis hemşirelerinde uyku/yorgunluk ile bilişsel performans arasındaki ilişki (Wolf ve ark., 2017) ve yoğun bakım hemşirelerinde düşük uyku kalitesi ile tıbbi hataya eğilim arasındaki ilişki (Tuğrul & Canbolat, 2024), uyku sağlığının çalışan iyilik durumu kadar hasta güvenliği açısından da önemli olduğunu göstermektedir.

Aile sorumlulukları ve sosyal yaşam, vardiyalar arası toparlanmayı etkileyebilir. Gece vardiyası sonrasında çocuk veya bağımlı aile üyesi bakımına devam etmek zorunda kalan çalışanlarda kesintisiz dinlenme süresi azalabilir. Bunun yanında sosyal destek ve psikolojik dayanıklılık, yoğun klinik deneyimlerin ardından toparlanmayı kolaylaştırabilir. Bu nedenle çalışanların bireysel özellikleri değerlendirilirken amaç yorgunluğun sorumluluğunu çalışana yüklemek değil, hangi çalışanların belirli çalışma düzenlerinde daha fazla desteğe gereksinim duyabileceğini belirlemektir.

4.2. Mesleki ve Örgütsel Faktörler

Uzun çalışma saatleri, vardiyalı çalışma, fazla mesai ve kısa toparlanma süreleri hemşire yorgunluğunun en tutarlı örgütsel belirleyicileri arasındadır. Hemşire çalışma çizelgeleri ile hasta sonuçlarını inceleyen sistematik derlemede, 12 saati aşan günlük çalışma ve 40 saati aşan haftalık çalışma sürelerinin olumsuz hasta sonuçlarıyla ilişki gösterebildiği belirtilmiştir (Bae, 2021). NIOSH/CDC de vardiyalı çalışma ve uzun çalışma saatlerinin hem çalışan sağlığı hem

güvenlik açısından risk oluşturduğunu ve riskin yönetiminde çalışan ve yöneticilerin ortak sorumluluğu bulunduğunu vurgulamaktadır (NIOSH, 2024).

Acil servislerde hasta sayısı ve hastaların klinik ağırlığı, hem fiziksel hem zihinsel iş yükünü artırır. Clopton ve Hyrkäs (2020), acil servis hemşirelik iş yükünün gerçek zamanlı değerlendirilmesinde hasta aciliyetinin önemli bir belirleyici olduğunu göstermiştir. Türkiye’de acil servis hemşirelerinde yapılan Kaplan (2024) çalışmasında daha fazla hastaya bakım veren, acil serviste ve haftalık çalışma süresi daha uzun olan hemşirelerin daha yorgun olduğu bulunmuştur. Bu nedenle yalnız hemşire sayısını değil, hemşire başına düşen hasta yükünü ve hasta aciliyetini birlikte dikkate alan personel planlaması gereklidir.

İş taleplerinin yüksek olması ve çalışanların iş üzerinde düşük kontrol algılaması da yorgunlukla ilişkilidir. Al-Abdallah ve Malak (2019), 153 acil servis hemşiresinde psikolojik zorlanma ve yüksek iş taleplerinin uzamış yorgunlukla pozitif; iş kontrolünün ise yorgunlukla ters yönde ilişkili olduğunu bildirmiştir. Yudiah ve arkadaşlarının (2018) acil servis hemşirelerinde yorgunluk ve iş doyumunu birlikte ele alan çalışması da yorgunluğun çalışma deneyiminin örgütsel boyutundan bağımsız olmadığını göstermektedir.

Personel yetersizliği ve iş yoğunlaşması, planlı dinlenme aralarının kullanılamaması ve fazla mesainin olağanlaşması üzerinden yorgunluğu artırabilir. Güngör ve Sönmez (2025), iş yoğunlaşmasının hem akut hem kronik yorgunluğu artırdığını ve vardiyalar arası toparlanmayı azalttığını göstermiştir. Bu bulgu özellikle acil servislerde önemlidir; çünkü ani hasta yoğunluğu artışı sırasında aynı çalışanlardan daha kısa sürede daha fazla işi tamamlaması beklenebilir.

Şiddet ve tehdit riski acil servislerde ek bir psikososyal yüküdür. Türkiye’de acil servis hemşireleriyle gerçekleştirilen bir çalışmada katılımcıların önemli bir bölümünün iş yerinde şiddete maruz kaldığı ve şiddete maruz kalmanın iş doyumuyla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Bahar ve ark., 2015). Şiddet sonrası bakım görevine ara vermeden devam etmek, hemşirenin duygusal toparlanmasını güçleştirebilir. Kurumun olay sonrası desteği, güvenlik önlemleri ve çalışanların olay bildirimine ilişkin güveni yorgunluk ve tükenmişlik döngüsünün kırılmasında önemlidir.

Dinlenme aralarının yalnız çizelgede bulunması yeterli değildir. Sagherian ve arkadaşlarının (2023) 12 saatlik vardiyalarda çalışan 1.861 hemşireyle yürüttüğü araştırmada, dinlenme aralarının akut yorgunluğu azaltıcı etkisinin işten psikolojik olarak uzaklaşabilme ve yönetilebilir iş yükü koşullarında ortaya çıktığı gösterilmiştir. Bu nedenle “mola verildi” bilgisinden çok, mola sırasında hemşirenin hasta sorumluluğunu gerçekten devredip devredemediği ve klinik işten kısa süreli de olsa uzaklaşabilip uzaklaşamadığı önem taşır.

5. Yorgunluğun Hasta Güvenliği ve Bakım Kalitesine Etkisi

Yorgunluk, dikkat ve bilişsel performans üzerindeki etkileri nedeniyle hasta güvenliği açısından önemlidir. Acil serviste hemşireler aynı anda birden fazla hastanın klinik durumunu izlemek, yeni bilgiye göre bakım önceliklerini değiştirmek ve yüksek riskli uygulamaları doğru biçimde sürdürmek zorundadır. Wolf ve arkadaşlarının (2017) bulguları, acil servis hemşirelerinde uyku ve yorgunluk göstergelerinin bilişsel performansla ilişkili olduğunu ortaya

koymaktadır. Farklı bir yüksek riskli klinik ortam olan ameliyathanede gerçekleştirilen bir araştırmada da zihinsel yorgunluk arttıkça klinik karar verme düzeyinin olumsuz etkilendiği gösterilmiştir (Güven & İbrahimoglu, 2023). Bu bulgular, yorgunluğun klinik muhakeme açısından sistem düzeyinde ele alınması gerektiğini desteklemektedir.

İlaç uygulamaları yorgunluğun güvenlik üzerindeki etkisinin görünür olduğu alanlardan biridir. Bell ve arkadaşlarının (2023) hemşirelerde yorgunluk ile ilaç uygulama hatalarını inceleyen kapsam belirleme derlemesinde 38 çalışma değerlendirilmiş ve çalışmaların büyük çoğunluğunda uzun çalışma saatleri, vardiyalı çalışma, fazla mesai veya düşük uyku kalitesi gibi yorgunlukla ilişkili etkenlerin ilaç uygulama hataları ya da hataya ramak kala olaylarla bağlantılı olduğu bildirilmiştir. Bu ilişki, acil serviste zaman baskısı, kesintiler ve yüksek ilaç çeşitliliği nedeniyle özellikle önemlidir.

Hasta devir teslimi, acil serviste bakımın sürekliliğini sağlayan kritik bir iletişim sürecidir. Kaplan (2024), acil servis hemşirelerinin yorgunluk düzeyi ile devir teslim etkinliği arasında orta düzeyde negatif bir ilişki bildirmiştir ($r=-0,476$; $p<0,001$). Aynı çalışmada devir teslim hazırlık süresi ve teslim süresi arttıkça devir teslim etkinliğinin yükseldiği belirlenmiştir. Bu bulgular, yorgunluk nedeniyle bilgilerin unutulması veya düzensiz aktarılmasının standartlaştırılmış teslim süreçleri ve yeterli hazırlık süresiyle azaltılabileceğini düşündürmektedir.

Hemşire yorgunluğu yalnız tekil hatalarla değil daha geniş çalışan ve örgüt sonuçlarıyla da ilişkilidir. Cho ve Steege'nin (2021) sistematik derlemesinde yorgunluğun hemşirelerin ruh sağlığı, performansı ve hastalık nedeniyle işe devamsızlığı gibi sonuçlarla olumsuz ilişkiler gösterdiği; hasta güvenliği ve örgütsel sonuçlara ilişkin olumsuz bağlantıların da bulunduğu bildirilmiştir. Tükenmişlik yorgunlukla aynı kavram değildir; ancak uzun süreli ve yönetilemeyen iş talepleri her iki süreci birlikte besleyebilir. Li ve arkadaşlarının (2024) 85 çalışmayı kapsayan sistematik derleme ve meta-analizinde hemşire tükenmişliğinin daha düşük hasta güvenliği, daha düşük bakım kalitesi ve daha düşük hasta memnuniyetiyle ilişkili olduğu gösterilmiştir.

Yorgunluğa bağlı güvenlik risklerinin yalnız bireysel dikkatsizlik olarak yorumlanması hatalıdır. Çalışma saatleri, personel yeterliliği, hasta yükü, mola olanakları, iş akışı ve güvenlik kültürü yorgunluğu şekillendiren sistem koşullarıdır. Bu nedenle yorgunlukla ilişkili olayların değerlendirilmesinde “kim hata yaptı?” sorusunun yanında “hangi çalışma koşulları bu hatayı daha olası hâle getirdi?” sorusunun da sorulması gerekir.

6. Yorgunluğun Azaltılmasına Yönelik Yaklaşımlar

Yorgunluğun azaltılmasında tek bir müdahalenin yeterli olması beklenmemelidir. Etkili yaklaşım; çalışma çizelgesi, personel planlaması, mola ve toparlanma olanakları, uyku sağlığı, psikososyal destek ve güvenlik kültürünü birlikte ele almalıdır. NIOSH/CDC'nin güncel eğitim programı, vardiyalı çalışma ve uzun çalışma saatlerinin risklerini azaltmak için hem bireysel davranışları hem de iş yeri sistemlerini hedefleyen stratejileri önermektedir (NIOSH, 2024).

Öncelikli müdahale alanlarından biri güvenli vardiya planlamasıdır. Ardışık uzun vardiyalar, plansız vardiya uzamaları ve fazla mesai mümkün olduğunca sınırlandırılmalı;

vardiyalar arasında gerçek toparlanmaya izin veren süreler bırakılmalıdır. Bae'nin (2021) sistematik derlemesi, özellikle 12 saati aşan günlük çalışma ve 40 saati aşan haftalık çalışma sürelerinin olumsuz hasta sonuçlarıyla ilişkili olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle personel açığını sürekli fazla mesai ile kapatmak, kısa vadede hizmet sürekliliği sağlasa da uzun vadede çalışan ve hasta güvenliği açısından risk oluşturabilir.

Personel planlamasında yalnız toplam hemşire sayısı değil, hasta sayısı, hasta aciliyeti, gözlem/resüsitasyon yükü ve çalışanların deneyim düzeyi dikkate alınmalıdır. Acil servisin gün ve saatlere göre başvuru örüntüsü incelenerek yoğun dönemlere ek personel planlanması, kritik bakım gereksinimi yüksek dönemlerde hemşire-hasta yükünün yeniden dağıtılması ve yeni başlayan hemşirelerin deneyimli çalışanlarla dengeli eşleştirilmesi yorgunluk riskini azaltabilir.

Dinlenme aralarının korunması, yorgunluk yönetiminin temel bileşenidir. Mola sırasında hemşirenin hasta sorumluluğunun geçici olarak başka bir ekip üyesine devredilmesi ve çalışanın klinik işten kısa süreli olarak uzaklaşabilmesi gerekir. Sagherian ve arkadaşlarının (2023) bulguları, mola kullanımının yalnızca fiziksel oturma süresi değil psikolojik olarak işten ayrışabilme ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Yoğun iş yükü altında “mola” sırasında telefon, hasta çağırısı veya kayıt sorumluluğunun devam etmesi beklenen toparlanma etkisini azaltabilir.

Uyku sağlığına yönelik eğitim ve danışmanlık, vardiyalı çalışma düzeninin yönetilmesine yardımcı olabilir. Vardiya öncesi uyku planlaması, gündüz uykusunda ışık ve gürültünün azaltılması, kafeinin zamanlaması, vardiya sonrası güvenli ulaşım ve aileyle uyku zamanının korunmasına ilişkin planlama bu kapsamda ele alınabilir. Bununla birlikte uyku eğitiminin personel yetersizliği, aşırı çalışma ve düzensiz vardiya sorunlarının yerine konması doğru değildir. Bireysel öneriler, kurumsal iş düzenlemeleriyle birlikte uygulanmalıdır.

Duygusal yük ve merhamet yorgunluğunun yönetiminde travmatik olaylar ve şiddet olayları sonrasında çalışan desteği önemlidir. Acil servis hemşirelerine gerektiğinde psikolojik danışmanlık, akran desteği ve profesyonel destek olanakları sağlanmalıdır. Başoğlu ve arkadaşlarının (2024) çalışması, merhamet yorgunluğunu azaltmaya yönelik danışmanlık, psikolojik destek ve mesleki gelişim programlarının önemine işaret etmektedir. Benzer biçimde ikincil travmatik stres ve tükenmişlik belirtilerinin erken fark edilmesi çalışanların psikolojik dayanıklılığının korunmasına katkı sağlayabilir (Urşan ve ark., 2024).

Yorgunluk risk yönetimi ölçülebilir göstergelerle izlenmelidir. Fazla mesai saatleri, ardışık gece vardiyaları, mola kullanımı, hasta yükü, çalışan yaralanmaları, ilaç hataları, devir teslim sorunları, devamsızlık ve işten ayrılma eğilimi belirli aralıklarla birlikte değerlendirilmelidir. Yorgunluk bildiriminin “dayanısızlık” veya performans düşüklüğü olarak cezalandırılmadığı adil bir güvenlik kültürü oluşturulması, çalışanların riskli durumları erken bildirebilmesini kolaylaştıracaktır.

7. Sonuç ve Öneriler

Acil servis hemşirelerinde yorgunluk, yoğun bir vardiyanın ardından gelişen geçici halsizlikten daha kapsamlı bir çalışan sağlığı ve hasta güvenliği sorunudur. Mevcut literatür; uzun çalışma saatleri, gece vardiyası, fazla mesai, yetersiz uyku, yüksek hasta yükü, iş

yoğunlaşması, düşük iş kontrolü, yetersiz dinlenme olanakları ve psikososyal yüklerin yorgunlukla ilişkili olduğunu göstermektedir. Yorgunluk, dikkat ve bilişsel performansı azaltarak klinik karar verme, ilaç uygulama güvenliği ve hasta devir teslimi gibi kritik süreçleri olumsuz etkileyebilir.

Yorgunluğun önlenmesi yalnız hemşirenin uyku, beslenme veya dayanıklılık becerilerine bırakılmamalıdır. Güvenli vardiya planlaması, fazla mesainin olağan personel çözümü olmaktan çıkarılması, hasta yüküne uygun personel görevlendirilmesi, gerçekten kullanılabilen dinlenme araları ve çalışanların psikososyal açıdan desteklenmesi temel kurumsal önlemlerdir. Acil servis yöneticilerinin yorgunluk göstergelerini düzenli izlemesi; vardiya düzenlemelerinin çalışan yorgunluğu, hata bildirimleri ve bakım sonuçları üzerindeki etkisini değerlendirmesi önerilmektedir.

Sonuç olarak acil servis hemşirelerinde yorgunluk bireysel, mesleki ve örgütsel etkenlerin etkileşimiyle gelişen çok boyutlu bir risk olarak değerlendirilmelidir. Yorgunluğun açıkça bildirilebildiği, dinlenmenin güvenli bakımın bir parçası olarak kabul edildiği ve iş yükünün sistem düzeyinde yönetildiği çalışma ortamları hem hemşire sağlığının korunmasına hem bakım kalitesi ve hasta güvenliğinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Etik Beyan

Bu çalışma, yayımlanmış literatürün anlatı biçiminde derlenmesine dayandığından insan veya hayvan katılımcılardan yeni veri toplanmamış ve etik kurul izni gerektiren bir araştırma süreci yürütülmemiştir. Kaynak gösterme ve bilimsel yayın etiği ilkelerine uyulmuştur.

Kaynakça

- Al-Abdallah, A. M., & Malak, M. Z. (2019). Factors correlating with prolonged fatigue among emergency department nurses. *Journal of Research in Nursing*, 24(8), 571–584. <https://doi.org/10.1177/1744987119880309>
- Bae, S. H. (2021). Relationships between comprehensive characteristics of nurse work schedules and adverse patient outcomes: A systematic literature review. *Journal of Clinical Nursing*, 30(15–16), 2202–2221. <https://doi.org/10.1111/jocn.15728>
- Bahar, A., Şahin, S., Akkaya, Z., & Alkayış, M. (2015). Acil serviste çalışan hemşirelerin şiddete maruz kalma durumu ve iş doyumuna etkili olan faktörlerin incelenmesi. *Psikiyatri Hemşireliği Dergisi*, 6(2), 57–64. <https://doi.org/10.5505/phd.2015.18189>
- Başoğlu, S., Aktaş, N., & Otal, Y. (2024). Acil servis hemşirelerinde merhamet yorgunluğunun bakım verici rollerine olan etkisi: Bir şehir hastanesi anket çalışması. *Maltepe Tıp Dergisi*, 16(3), 60–68. <https://doi.org/10.35514/mtd.2024.113>

- Bell, T., Sprajcer, M., Flenady, T., & Sahay, A. (2023). Fatigue in nurses and medication administration errors: A scoping review. *Journal of Clinical Nursing*, 32(17–18), 5445–5460. <https://doi.org/10.1111/jocn.16620>
- Cho, H., & Steege, L. M. (2021). Nurse fatigue and nurse, patient safety, and organizational outcomes: A systematic review. *Western Journal of Nursing Research*, 43(12), 1157–1168. <https://doi.org/10.1177/0193945921990892>
- Clopton, E. L., & Hyrkäs, E. K. (2020). Modeling emergency department nursing workload in real time: An exploratory study. *International Emergency Nursing*, 48, 100793. <https://doi.org/10.1016/j.ienj.2019.100793>
- Güngör, S., & Sönmez, B. (2025). Work intensification and occupational fatigue on nurses: A cross-sectional and correlational study. *BMC Health Services Research*, 25, 163. <https://doi.org/10.1186/s12913-025-12325-4>
- Güven, B., & İbrahimoğlu, Ö. (2023). Ameliyathane hemşirelerinde zihinsel yorgunluk ile klinik karar verme arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Sağlık Bilimleri Üniversitesi Hemşirelik Dergisi*, 5(3), 237–244. <https://doi.org/10.48071/sbuhemsirelik.1330883>
- Kaplan, A. (2024). An evaluation on the factors affecting the level of fatigue and handover effectiveness of emergency department nurses. *Sağlık Bilimleri Dergisi*, 33(1), 106–113. <https://doi.org/10.34108/eujhs.1325592>
- Li, L. Z., Yang, P., Singer, S. J., Pfeffer, J., Mathur, M. B., & Shanafelt, T. (2024). Nurse burnout and patient safety, satisfaction, and quality of care: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Network Open*, 7(11), e2443059. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.43059>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2024). NIOSH training for nurses on shift work and long work hours (DHHS [NIOSH] Publication No. 2015-115; revised 2024). Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/work-hour-training-for-nurses/>
- Sagherian, K., McNeely, C., Cho, H., & Steege, L. M. (2023). Nurses’ rest breaks and fatigue: The roles of psychological detachment and workload. *Western Journal of Nursing Research*, 45(10), 885–893. <https://doi.org/10.1177/01939459231189787>
- Steege, L. M., & Rainbow, J. G. (2017). Fatigue in hospital nurses—“Supernurse” culture is a barrier to addressing problems: A qualitative interview study. *International Journal of Nursing Studies*, 67, 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2016.11.014>
- Tuğrul, G., & Canbolat, Ö. (2024). Yoğun bakım hemşirelerinde uyku kalitesi ve tıbbi hataya eğilimin değerlendirilmesi. *Mersin Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 17(2), 301–310. <https://doi.org/10.26559/mersinsbd.1461827>
- Urşan, G., Çiçekoğlu Öztürk, P., & Büyükbayram Arslan, A. (2024). Acil servis çalışanlarının ikincil travmatik stres ve tükenmişlik düzeylerinin psikolojik dayanıklılığa etkisi. *Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi*, 9(3), 333–353. <https://doi.org/10.47115/jsbs.1524499>
- Wolf, L. A., Perhats, C., Delao, A. M., & Martinovich, Z. (2017). The effect of reported sleep, perceived fatigue, and sleepiness on cognitive performance in a sample of emergency

nurses. *Journal of Nursing Administration*, 47(1), 41–49.
<https://doi.org/10.1097/NNA.0000000000000435>

Yudiah, W., Yudianto, K., & Prawesti, A. (2018). Fatigue and work satisfaction of emergency nurses in Bandung, West Java, Indonesia. *Belitung Nursing Journal*, 4(6), 602–611.
<https://doi.org/10.33546/bnj.558>

**MEME KORUYUCU CERRAHİ SONRASI HİPOFRAKSİYONE SOL MEME
RADYOTERAPİSİNDE HİBRİT IMRT VE HİBRİT VMAT PLANLARININ
DOZİMETRİK DEĞERLENDİRİLMESİ**

Dr.Öğr.Üyesi Eda KAYA PEPELE

Malatya Turgut Özal Üniversitesi,
eda.pepele@ozal.edu.tr-Orchid Id: 0000-0002-9193-0961

ÖZET

Bu çalışmada, meme koruyucu cerrahi sonrası hipofraksiyone sol meme radyoterapisinde hibrit yoğunluk ayarlı radyoterapi (H-IMRT) ile hibrit volümetrik ayarlı ark tedavisi (H-VMAT) tekniklerinin dozimetrik özelliklerinin karşılaştırılması amaçlandı. Retrospektif dozimetrik planlama kapsamında, daha önce klinik amaçla elde edilmiş sol meme planlama BT verisi üzerinde aynı hedef hacimler ve risk altındaki organ konturları kullanılarak 40 Gy/15 fraksiyon için iki ayrı plan oluşturuldu. Planlar; PTV doz kapsamı, homojenite ve konformite indeksleri, kalp, ipsilateral akciğer, kontralateral meme ve normal doku dozları ile monitor unit ve tahmini uygulama süresi açısından değerlendirildi. H-IMRT, H-VMAT'ye kıyasla daha yüksek PTV D95% (39,34'e karşı 37,88 Gy), V95% (%98,40'a karşı %94,60) ve V100% (%89,00'a karşı %74,81) değerleri sağlayarak hedef hacim kapsamında avantaj gösterdi. Homojenite indeksi H-IMRT ve H-VMAT için sırasıyla 0,116 ve 0,134; konformite indeksi ise 1,14 ve 1,07 olarak belirlendi. H-VMAT, PTV V105% ve V107% değerlerini azaltarak sıcak alan kontrolünü iyileştirdi. Ayrıca kalp ortalama dozu 5,10 Gy'den 1,74 Gy'ye, ipsilateral akciğer V20 Gy değeri %8,59'dan %6,16'ya düşerken, düşük doz hacimlerinde ve kontralateral meme ortalama dozunda artış gözlemlendi. H-VMAT daha düşük monitor unit ve daha kısa tahmini uygulama süresi sağladı. Bulgular, H-IMRT'nin hedef kapsamı ve homojenitede; H-VMAT'nin ise konformite, sıcak alan kontrolü ve uygulama verimliliğinde avantaj sağlayabileceğini gösterirken bu teknik planlama karşılaştırması, H-IMRT ve H-VMAT tekniklerinin hedef kapsamı, kritik organ korunması ve düşük doz yayılımı arasındaki denge dikkate alınarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Meme kanseri, hipofraksiyone radyoterapi, hibrit IMRT, hibrit VMAT, dozimetrik karşılaştırma.

**DOSIMETRIC EVALUATION OF HYBRID IMRT AND HYBRID VMAT PLANS IN
HYPOFRACTIONATED LEFT-BREAST RADIOTHERAPY FOLLOWING
BREAST-CONSERVING SURGERY**

Assist. Prof. Eda KAYA PEPELE,
Malatya Turgut Özal University,

eda.pepele@ozal.edu.tr-Orchid Id: 0000-0002-9193-0961

ABSTRACT

This study aimed to compare the dosimetric characteristics of hybrid intensity-modulated radiotherapy (H-IMRT) and hybrid volumetric-modulated arc therapy (H-VMAT) for hypofractionated left-sided breast radiotherapy following breast-conserving surgery. Within the framework of a retrospective dosimetric planning study, two treatment plans were generated on a previously acquired clinical planning CT dataset using identical target volumes and organs-at-risk contours, with a prescribed dose of 40 Gy in 15 fractions. The plans were evaluated in terms of planning target volume (PTV) coverage, homogeneity and conformity indices, doses to the heart, ipsilateral lung, contralateral breast, and normal tissues, as well as monitor units and estimated treatment delivery time. Compared with H-VMAT, H-IMRT achieved higher PTV D95% (39.34 vs. 37.88 Gy), V95% (98.40% vs. 94.60%), and V100% (89.00% vs. 74.81%), indicating improved target coverage. The homogeneity index was 0.116 for H-IMRT and 0.134 for H-VMAT, while the conformity index was 1.14 and 1.07, respectively. H-VMAT reduced PTV V105% and V107%, thereby improving hotspot control. In addition, the mean heart dose decreased from 5.10 to 1.74 Gy, and ipsilateral lung V20 Gy decreased from 8.59% to 6.16%; however, increases were observed in low-dose volumes and the mean dose to the contralateral breast. H-VMAT also required fewer monitor units and a shorter estimated delivery time. Overall, H-IMRT showed advantages in target coverage and dose homogeneity, whereas H-VMAT demonstrated superior conformity, hotspot control, and delivery efficiency. These findings indicate that the relative balance among target coverage, organ-at-risk sparing, and low-dose exposure should be carefully considered when evaluating H-IMRT and H-VMAT planning approaches.

Keywords: Breast cancer, hypofractionated radiotherapy, hybrid IMRT, hybrid VMAT, dosimetric comparison.

GELECEĞİN EBELERİ VE HEMŞİRELERİNİ PREKONSEPSİYONEL BAKIMA HAZIRLAMAK: EĞİTİM, YETKİNLİK VE KLİNİK UYGULAMALARDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Arş. Gör. Dr. Seda GÜRAY

Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ebelik Bölümü, Mersin, Türkiye
E-posta: sedaguray@tarsus.edu.tr – ORCID: 0000-0002-3001-5639

Doç. Dr. Özlem KOÇ

Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ebelik Bölümü, Mersin, Türkiye
E-posta: ozlemkoc@tarsus.edu.tr – ORCID ID: 0000-0002-6751-1206

ÖZET

Prekonsepsiyonel bakım, gebelik öncesi dönemde sağlık risklerinin belirlenmesi ve yönetilmesini amaçlayan, anne, bebek ve toplum sağlığının geliştirilmesinde önemli rol oynayan kanıta dayalı koruyucu sağlık hizmetlerinden biridir. Bu hizmetlerin etkili biçimde sunulabilmesi, yalnızca klinik rehberlerin ve sağlık politikalarının varlığına değil, aynı zamanda prekonsepsiyonel bakım konusunda yeterli bilgi, beceri ve danışmanlık yetkinliğine sahip ebe ve hemşirelerin yetiştirilmesine de bağlıdır. Bu derlemenin amacı, güncel uluslararası kanıtlar doğrultusunda geleceğin ebe ve hemşirelerinin prekonsepsiyonel bakım alanına hazırlanmasına yönelik eğitim süreçlerini, mesleki yetkinlik gelişimini ve klinik uygulamalara ilişkin güncel yaklaşımları bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmektir. Bu kapsamda prekonsepsiyonel bakımın ebelik ve hemşirelik lisans müfredatına entegrasyonu, öğrencilerin bilgi, tutum, öz yeterlilik ve danışmanlık becerileri ile çağdaş öğretim yöntemleri, dijital öğrenme uygulamaları, simülasyon temelli eğitimler, klinik öğrenme deneyimleri ve profesyonel yetkinliklerin geliştirilmesine ilişkin güncel kanıtlar incelenmiştir. Literatür, öğrencilerin prekonsepsiyonel bakımın öneminin farkında olmalarına karşın bilgi, klinik uygulama ve danışmanlık yeterlilikleri açısından gelişime gereksinim duyduklarını göstermektedir. Buna karşılık yapılandırılmış müfredatlar, yeterlilik temelli eğitim modelleri, simülasyon uygulamaları, mobil öğrenme teknolojileri, mentorluk programları ve deneyim temelli öğrenme yaklaşımlarının öğrencilerin bilgi düzeylerini, klinik karar verme becerilerini, iletişim ve danışmanlık yeterliliklerini, öz yeterlilik algılarını ve profesyonel kimlik gelişimlerini anlamlı düzeyde güçlendirdiği bildirilmektedir. Sonuç olarak prekonsepsiyonel bakımın lisans eğitiminde temel yeterlilik alanlarından biri olarak yapılandırılması, teori ile klinik uygulamanın bütünleştirilmesi ve yenilikçi öğretim yöntemlerinin eğitim süreçlerine sistematik biçimde entegre edilmesi; geleceğin ebe ve hemşirelerinin prekonsepsiyonel bakım hizmetlerini etkili, güvenli ve birey merkezli biçimde sunabilmeleri açısından kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Prekonsepsiyonel bakım; ebelik eğitimi; hemşirelik eğitimi; prekonsepsiyonel sağlık; mesleki yetkinlik; lisans eğitimi.

**PREPARING FUTURE MIDWIVES AND NURSES FOR PRECONCEPTION CARE:
CONTEMPORARY APPROACHES TO EDUCATION, COMPETENCY, AND
CLINICAL PRACTICE**

Res. Assist. Dr. Seda GÜRAY

Tarsus University, Faculty of Health Sciences, Department of Midwifery, Mersin, Türkiye
E-mail: sedaguray@tarsus.edu.tr – ORCID: 0000-0002-3001-5639

Assoc. Prof. Dr. Özlem KOÇ

Tarsus University, Faculty of Health Sciences, Department of Midwifery, Mersin, Türkiye
E-mail: ozlemkoc@tarsus.edu.tr – ORCID: 0000-0002-6751-1206

ABSTRACT

Preconception care is an evidence-based preventive health service that aims to identify and manage health risks before pregnancy and plays a pivotal role in improving maternal, neonatal, and population health. The effective delivery of these services depends not only on the availability of clinical guidelines and health policies but also on the preparation of midwives and nurses with adequate knowledge, skills, and counseling competencies in preconception care. This review aims to provide a comprehensive evaluation of educational processes, professional competency development, and current approaches to clinical practice for preparing future midwives and nurses to deliver preconception care in light of current international evidence. Accordingly, the review examines the integration of preconception care into undergraduate midwifery and nursing curricula, students' knowledge, attitudes, self-efficacy, and counseling skills, as well as contemporary teaching methods, digital learning applications, simulation-based education, clinical learning experiences, and current evidence regarding the development of professional competencies. The literature indicates that although students recognize the importance of preconception care, they continue to require further development in terms of knowledge, clinical practice, and counseling competencies. Conversely, structured curricula, competency-based educational models, simulation-based learning, mobile learning technologies, mentoring programs, and experiential learning approaches have been shown to significantly enhance students' knowledge, clinical decision-making abilities, communication and counseling skills, self-efficacy, and professional identity development. In conclusion, establishing preconception care as a core competency within undergraduate education, integrating theoretical instruction with clinical practice, and systematically incorporating innovative teaching strategies into educational programs are critically important for preparing future midwives and nurses to provide effective, safe, and person-centered preconception care.

Keywords: Preconception care; Midwifery; Nursing; Midwifery education; Nursing education; Professional competence.

1. GİRİŞ

Prekonsepsiyonel bakım, gebelik öncesi dönemde bireylerin biyomedikal, davranışsal, çevresel ve sosyal risk faktörlerinin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve yönetilmesini amaçlayan, anne, bebek ve toplum sağlığını iyileştirmeye yönelik kanıta dayalı koruyucu sağlık hizmetlerinin temel bileşenlerinden biridir (Chingara et al., 2026; Nypaver & Yeager, 2024). Günümüzde bu yaklaşım yalnızca planlı gebeliğe hazırlık süreci olarak değil, bireyin, çiftin ve gelecekte doğacak çocuğun sağlığını kapsayan yaşam döngüsü yaklaşımının ayrılmaz bir parçası olarak kabul edilmektedir (Nypaver & Yeager, 2024). Prekonsepsiyonel dönemde gerçekleştirilen girişimler; sağlıklı yaşam davranışlarının desteklenmesi, kronik hastalıkların kontrol altına alınması, beslenmenin optimize edilmesi, folik asit desteğinin planlanması, bağışıklama durumunun değerlendirilmesi, genetik risklerin belirlenmesi ve psikososyal iyilik hâlinin güçlendirilmesi yoluyla maternal ve neonatal sağlık sonuçlarını iyileştirmektedir (Chingara et al., 2026; Mulyaningsih et al., 2024).

Güncel literatür, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca gebelik sonuçlarını iyileştirmeye yönelik bir girişim değil, aynı zamanda önemli bir halk sağlığı stratejisi olduğunu ortaya koymaktadır. Gebelik öncesinde sağlıklı yaşam alışkanlıklarının kazandırılması; gebelik komplikasyonlarının azaltılması, kronik hastalıkların etkin yönetimi, üreme sağlığının korunması ve sağlıklı nesillerin yetiştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir (Nypaver & Yeager, 2024). Buna karşın dünya genelinde prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanma oranlarının istenen düzeye ulaşmadığı, bireylerin bilgi ve farkındalıklarının sınırlı olduğu ve sağlık sistemlerinde hizmet sunumuna ilişkin önemli farklılıkların bulunduğu bildirilmektedir (Caut et al., 2025; Mulyaningsih et al., 2024). Özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde hizmete erişimde yaşanan güçlükler, sağlık okuryazarlığının yetersizliği, toplum farkındalığının düşük olması ve sağlık profesyonellerinin eğitim gereksinimleri, prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin yaygınlaştırılmasının önündeki temel engeller arasında yer almaktadır (Bawah et al., 2025; Zeleke et al., 2025).

Prekonsepsiyonel bakımın etkili biçimde sunulabilmesi, ulusal politika ve klinik rehberlerin yanı sıra bu hizmeti sunacak sağlık profesyonellerinin bilgi, beceri ve danışmanlık yetkinliklerine de bağlıdır. Özellikle ebe ve hemşireler; koruyucu sağlık hizmetlerinde aktif rol almaları ve bireylerle yaşamın farklı dönemlerinde sürekli iletişim kurmaları nedeniyle risk değerlendirmesi, danışmanlık ve davranış değişikliğinin desteklenmesinde kilit konumdadır (Hussein et al., 2016; Nypaver & Yeager, 2024; Scheele et al., 2023). Avustralya'da yürütülen MidPIC çalışması, ebelerin prekonsepsiyonel bakımın önemini farkında olduklarını; ancak bilgi ve becerilerinin güçlendirilmesine, eğitim gereksinimlerinin karşılanmasına ve standart uygulamaların yaygınlaştırılmasına ihtiyaç duyulduğunu göstermiştir (Bradfield et al., 2023). Benzer şekilde sağlık profesyonellerinin görüşlerini inceleyen sistematik derleme; bilgi eksikliği, rol belirsizliği, yetersiz eğitim, zaman kısıtlılığı ve kurumlar arası koordinasyon eksikliğinin prekonsepsiyonel bakım uygulamalarını sınırlandırdığını bildirmektedir (Caut et al., 2025). Klinik uygulama rehberlerini değerlendiren sistematik inceleme ise kanıta dayalı rehberlerin eğitim süreçlerine daha etkin biçimde entegre edilmesinin sağlık profesyonellerinin yetkinliklerini güçlendireceğini vurgulamaktadır (Dorney et al., 2022).

Bu nedenle prekonsepsiyonel bakım yetkinliğinin yalnızca mezuniyet sonrası hizmet içi eğitimlerle kazandırılması yeterli görülmemekte, lisans eğitiminin temel yeterlilik alanlarından biri olarak sistematik biçimde geliştirilmesi önerilmektedir. Güncel çalışmalar, ebelik ve hemşirelik öğrencilerinin prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi düzeyleri, farkındalıkları ve danışmanlık becerilerinin çoğu zaman istenilen düzeyde olmadığını; buna karşın yapılandırılmış eğitim programları, müfredat entegrasyonu, dijital öğrenme araçları ve uygulamalı öğretim yöntemlerinin öğrencilerin bilgi, tutum ve öz yeterliliklerini anlamlı düzeyde geliştirdiğini göstermektedir (Elrefay et al., 2025; Prosen et al., 2024; Ukoha & Mtshali, 2023). Birleşik Arap Emirlikleri'nde yürütülen bir araştırmada öğrencilerin prekonsepsiyonel sağlık konusundaki bilgi düzeylerinin düşük-orta düzeyde olduğu belirlenirken (Maki et al., 2025), Kenya'da gerçekleştirilen bir çalışmada öğrencilerin önemli bilgi eksikliklerine sahip olduğu ve prekonsepsiyonel bakımın lisans müfredatına daha kapsamlı biçimde entegre edilmesi gerektiği ortaya konmuştur (Mukolwe et al., 2024).

Çağdaş ebelik ve hemşirelik eğitimi yalnızca teorik bilgi aktarımına değil; klinik karar verme, iletişim ve danışmanlık becerileri, kadın merkezli bakım, profesyonel kimlik gelişimi, öz yeterlilik ve dijital öğrenme yeterliliklerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Ebeliğin temel felsefesini oluşturan *with woman* yaklaşımının öğrencilik döneminde benimsenmesi, kadın merkezli bakım anlayışının ve profesyonel kimliğin gelişimini desteklemektedir (Guerin et al., 2024). Ayrıca simülasyon temelli eğitimler, mobil öğrenme uygulamaları, çevrim içi modüller, mentorluk programları ve deneyim temelli öğretim modellerinin öğrencilerin klinik yeterliliklerini, iletişim becerilerini ve prekonsepsiyonel bakım danışmanlığı sunma konusundaki özgüvenlerini artırdığı bildirilmektedir (Caglioni et al., 2026; Podder et al., 2025; Susanti et al., 2026). Bu bulgular, prekonsepsiyonel bakım eğitiminin yalnızca müfredatta yer almasının yeterli olmadığını, çağdaş öğretim yöntemleriyle desteklenen uygulamalı eğitim modelleriyle güçlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu derleme, güncel uluslararası kanıtlar doğrultusunda geleceğin ebe ve hemşirelerinin prekonsepsiyonel bakım alanına hazırlanmasında eğitim süreçlerini, mesleki yetkinlik gelişimini ve klinik uygulamalara yönelik güncel yaklaşımları bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda prekonsepsiyonel bakımın ebelik ve hemşirelik lisans müfredatına entegrasyonu, öğrencilerin bilgi, beceri ve danışmanlık yeterliliklerini geliştiren çağdaş eğitim yaklaşımları, klinik öğrenme deneyimleri ile mevcut güçlükler ve geleceğe yönelik geliştirme alanları güncel literatür doğrultusunda ele alınacaktır.

2. Prekonsepsiyonel Bakımda Ebe ve Hemşirenin Genişleyen Profesyonel Rolü

Prekonsepsiyonel bakımın başarısı, yalnızca bireylerin bu hizmetlere erişebilmesine değil, aynı zamanda hizmeti sunan sağlık profesyonellerinin bilgi, beceri ve mesleki yetkinliklerine de bağlıdır. Bu nedenle ebe ve hemşirelerin rolü, gebelik öncesi risklerin belirlenmesi ve yönetilmesinin ötesine geçerek sağlık geliştirme, koruyucu bakım, danışmanlık ve yaşam boyu üreme sağlığının desteklenmesini kapsayan bütüncül bir yapıya dönüşmüştür (Chingara et al., 2026; Nypaver & Yeager, 2024). Güncel kanıtlar, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca gebelik planlayan kadınlara değil; erkeklere, çiftlere ve üreme çağındaki tüm bireylere sunulmasının anne, bebek ve toplum sağlığı açısından önemli kazanımlar sağladığını göstermektedir (Chingara et al., 2026; Hussein et al., 2016).

Ebe ve hemşireler, bireylerle yaşamın farklı dönemlerinde sürekli iletişim kurabilmeleri nedeniyle prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinde ilk temas sağlık profesyonelleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda risk değerlendirmesi, kronik hastalık yönetimi, beslenmenin değerlendirilmesi, folik asit desteğinin planlanması, bağışıklama durumunun gözden geçirilmesi, genetik danışmanlık gereksiniminin belirlenmesi, ilaç kullanımının değerlendirilmesi, zararlı alışkanlıkların azaltılması ve üreme sağlığı danışmanlığı temel sorumluluk alanlarını oluşturmaktadır (Scheele et al., 2023; Ukoha & Mtshali, 2023). Ayrıca ruh sağlığının değerlendirilmesi, aile içi şiddetin sorgulanması ile çevresel, mesleki ve sosyal risklerin dikkate alınması da günümüzde prekonsepsiyonel bakımın temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Caut et al., 2025; Dorney et al., 2022). Bu yaklaşım, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca biyolojik risklerin yönetildiği değil, bireyin fiziksel, psikolojik ve sosyal gereksinimlerini kapsayan bütüncül bir bakım modeli olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte mevcut kanıtlar, ebe ve hemşirelerin prekonsepsiyonel bakımın önemini benimsemelerine rağmen hizmet sunumunda çeşitli güçlüklerle karşılaştıklarını göstermektedir. Avustralya'da yürütülen MidPIC çalışmasında ebeler prekonsepsiyonel bakım sunmayı mesleki sorumluluklarının doğal bir parçası olarak değerlendirmiş; ancak sağlık hizmeti planlamasında bu hizmete öncelik verilmemesi, standart uygulama protokollerinin sınırlı olması ve zaman kısıtlılığı temel engeller olarak bildirilmiştir (Bradfield et al., 2023). Benzer şekilde Gana'da gerçekleştirilen nitel araştırmada standart rehberlerin bulunmaması, hizmetlerin kurumsal olarak yapılandırılmamış olması ve düşük başvuru oranlarının uygulamayı güçleştirdiği belirtilmiştir (Bawah et al., 2025). Hollanda'da yürütülen araştırmalar da kurumlar arasında uygulama farklılıklarının bulunduğunu ve standartlaştırılmış hizmet modellerine gereksinim olduğunu ortaya koymaktadır (Scheele et al., 2023).

Sağlık profesyonellerinin prekonsepsiyonel bakıma yönelik görüşlerini inceleyen sistematik derleme, bilgi ve eğitim eksiklikleri, rol belirsizliği, zaman yetersizliği, kurumlar arası koordinasyon sorunları ve klinik kaynakların sınırlı olmasının hizmet sunumunu güçleştirdiğini bildirmektedir (Caut et al., 2025). Buna karşılık meslek içi eğitimlerin yaygınlaştırılması, disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesi, standart klinik rehberlerin geliştirilmesi ve kanıta dayalı uygulamaların rutin bakım süreçlerine entegrasyonu temel çözüm stratejileri olarak önerilmektedir (Dorney et al., 2022; Zeleke et al., 2025).

Tüm bu bulgular, prekonsepsiyonel bakımın başarısının yalnızca hizmet sunum modellerinin geliştirilmesine değil, bu hizmeti sunacak ebe ve hemşirelerin mesleki yeterliliklerinin güçlendirilmesine de bağlı olduğunu göstermektedir. Geleceğin ebe ve hemşirelerinin riskleri erken dönemde tanımlayabilen, kanıta dayalı karar verebilen, etkili danışmanlık sunabilen ve birey merkezli bakım yaklaşımını benimseyen profesyoneller olarak yetiştirilmeleri, prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin niteliğinin artırılmasında temel gerekliliklerden biridir. Bu doğrultuda mesleki rol ve sorumlulukların lisans eğitimi sürecinde kazandırılması ve öğrencilerin bilgi, tutum ve hazırbulunuşluk düzeylerinin güçlendirilmesi, bir sonraki bölümde ele alınacak eğitim yeterliliklerinin temelini oluşturmaktadır.

3. Öğrencilerin Prekonsepsiyonel Bakıma İlişkin Bilgi, Tutum ve Hazır Bulunuşluk Düzeyi

Prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin niteliği, yalnızca klinik uygulamaların geliştirilmesine değil, bu hizmeti sunacak sağlık profesyonellerinin eğitim sürecinde kazandıkları bilgi, beceri ve mesleki tutumlara da bağlıdır. Bu nedenle son yıllarda yürütülen çalışmalar, ebelik ve hemşirelik öğrencilerinin prekonsepsiyonel bakıma ilişkin bilgi düzeylerini, farkındalıklarını, öz yeterliliklerini ve danışmanlık sunmaya yönelik hazırbulunuşluklarını değerlendirmeye odaklanmıştır. Mevcut kanıtlar, öğrencilerin prekonsepsiyonel bakımın öneminin farkında olmakla birlikte bakımın kapsamı, temel bileşenleri ve danışmanlık süreçlerine ilişkin bilgi ve uygulama yeterliliklerinde gelişim gereksinimi bulunduğunu göstermektedir (Maki et al., 2025; Mukolwe et al., 2024).

Sağlık meslekleri öğrencilerinin prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi düzeyleri ülkeler arasında farklılık göstermekle birlikte, genel eğilim temel kavramların bilinmesine karşın kapsamlı bakım bileşenlerinin yeterince özümsemediğini ortaya koymaktadır. Birleşik Arap Emirlikleri'nde tıp öğrencileriyle gerçekleştirilen araştırmada öğrencilerin genel bilgi düzeylerinin düşük olduğu, özellikle risk faktörleri, yaşam tarzı düzenlemeleri ve koruyucu sağlık uygulamalarına ilişkin önemli bilgi eksiklikleri bulunduğu belirlenmiştir. Ayrıca öğrencilerin bilgilerini çoğunlukla internet ve sosyal medya gibi dijital kaynaklardan edindikleri, yapılandırılmış eğitim kaynaklarından daha az yararlandıkları bildirilmiştir (Maki et al., 2025). Benzer şekilde Kenya'da hemşirelik ve ebelik öğrencileriyle gerçekleştirilen çalışmada öğrencilerin risk değerlendirmesi, danışmanlık, kronik hastalık yönetimi ve yaşam tarzı değişiklikleri gibi temel alanlarda bilgi eksikliklerine sahip oldukları; öğrencilerin müfredatta prekonsepsiyonel bakıma daha fazla yer verilmesini, öğretim elemanlarının ise klinik uygulama olanaklarının artırılmasını önerdikleri belirtilmiştir (Mukolwe et al., 2024). Güney Afrika'da gerçekleştirilen çalışma da prekonsepsiyonel bakım içeriklerinin müfredatta yer almasına rağmen yeterlilik temelli bir bütünlük içerisinde sunulmadığını ve öğrencilerin uygulamaya yönelik hazırbulunuşluklarının geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Ukoha & Mtshali, 2023).

Bilgi düzeyinin yanı sıra öğrencilerin prekonsepsiyonel bakım hizmeti sunmaya yönelik tutumları ve öz yeterlilik algıları da mesleki yeterliliğin önemli belirleyicilerindendir. Öğrencilerin kendilerini yeterli hissetmeleri, danışmanlık verme istekliliklerini, klinik karar verme süreçlerini ve bakım sunumundaki özgüvenlerini doğrudan etkilemektedir. İran'da ebelik öğrencileriyle yürütülen araştırmada öğrencilerin genel öz yeterlilik düzeylerinin yüksek olduğu, klinik deneyim ve uygulama fırsatlarının artmasının bu algıyı daha da güçlendirdiği gösterilmiştir (Yazdizadeh et al., 2024). Benzer şekilde klinik öğrenme ortamlarını inceleyen çalışmalar, mesleki özgüvenin yalnızca teorik bilgiyle değil, deneyim temelli öğrenme, yapılandırılmış geri bildirim ve güvenli klinik uygulama ortamlarıyla geliştiğini ortaya koymaktadır (Podder et al., 2025; Guerin et al., 2024).

Prekonsepsiyonel bakım eğitimi yalnızca bilgi kazandırmayı değil, etkili iletişim kurabilen, danışmanlık verebilen ve birey merkezli bakım sunabilen sağlık profesyonelleri yetiştirmeyi de hedeflemektedir. Bu doğrultuda danışmanlık becerilerinin geliştirilmesi, kadın merkezli bakım anlayışının benimsenmesi ve profesyonel kimlik gelişiminin desteklenmesi önem taşımaktadır. Özellikle *with woman* yaklaşımını inceleyen çalışmalar, öğrencilerin klinik eğitim sürecinde kadınla güvene dayalı terapötik ilişki kurmayı öğrenmelerinin yalnızca doğum bakımını değil,

prekonsepsiyonel danışmanlık dâhil tüm üreme sağlığı hizmetlerinin niteliğini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir (Guerin et al., 2024). Benzer şekilde iletişim ve beslenme danışmanlığına yönelik eğitim girişimlerinin öğrencilerin empati, danışmanlık ve profesyonel iletişim becerilerini anlamlı düzeyde geliştirdiği bildirilmektedir (Caglioni et al., 2026).

Literatürde öne çıkan ortak bulgu, öğrencilerin prekonsepsiyonel bakımın önemini kabul etmelerine rağmen bu bilgiyi klinik uygulamaya aktarma konusunda kendilerini yeterince hazır hissetmemeleridir. Bu durum, yalnızca teorik derslerin artırılmasıyla çözülebilecek bir sorun olmayıp; yapılandırılmış klinik deneyimler, simülasyon uygulamaları, mentorluk sistemleri ve disiplinler arası öğrenme ortamlarıyla desteklenen yeterlilik temelli eğitim modellerini gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla geleceğin ebe ve hemşirelerinin prekonsepsiyonel bakım alanında yetkin sağlık profesyonelleri olarak yetiştirilebilmesi için bilgi, beceri, tutum ve öz yeterliliği birlikte geliştiren eğitim yaklaşımlarının lisans müfredatına sistematik biçimde entegre edilmesi gerekmektedir.

4. Prekonsepsiyonel Bakımın Ebelik ve Hemşirelik Eğitim Programlarına Entegrasyonu

Prekonsepsiyonel bakımın etkili biçimde sunulabilmesi, yalnızca sağlık profesyonellerinin bireysel bilgi ve deneyimlerine değil, bu yeterliliklerin lisans eğitimi sürecinde sistematik olarak kazandırılmasına da bağlıdır. Bu nedenle son yıllarda prekonsepsiyonel bakımın ebelik ve hemşirelik müfredatlarına bütüncül biçimde entegre edilmesine yönelik ilgi artmıştır. Güncel yaklaşımlar, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca üreme sağlığı veya kadın hastalıkları dersleri kapsamında ele alınmasının yeterli olmadığını; temel sağlık bilimlerinden klinik uygulamalara uzanan disiplinler arası ve yaşam döngüsü temelli bir öğrenme alanı olarak yapılandırılması gerektiğini vurgulamaktadır (Nypaver & Yeager, 2024; Dorney et al., 2022).

Uluslararası Ebeler Konfederasyonu (International Confederation of Midwives [ICM]) tarafından tanımlanan temel ebelik yeterlilikleri de bu yaklaşımı desteklemektedir. Buna göre ebe ve hemşirelerin sorumlulukları prekonsepsiyonel dönemden başlayarak gebelik, doğum, doğum sonu dönem ve yaşam boyu üreme sağlığını kapsayan bakım sürekliliği içerisinde ele alınmaktadır. Bu doğrultuda öğrencilerin mezuniyet öncesinde risk değerlendirmesi yapabilme, bireyselleştirilmiş sağlık danışmanlığı sunabilme, beslenme ve yaşam tarzı düzenlemelerini planlayabilme, bağışıklama durumunu değerlendirebilme, kronik hastalık yönetimi konusunda rehberlik edebilme ve gerektiğinde uygun yönlendirmeleri gerçekleştirebilme yeterliliklerini kazanmaları beklenmektedir (Chingara et al., 2026; Ukoha & Mtshali, 2023).

Müfredat içeriklerini inceleyen çalışmalar, prekonsepsiyonel bakım konularının birçok eğitim programında yer almakla birlikte çoğu zaman farklı derslere dağılmış olduğunu ve yeterlilik temelli bir bütünlük içerisinde sunulmadığını göstermektedir. Güney Afrika'da gerçekleştirilen müfredat analizinde prekonsepsiyonel bakımın öğrenme çıktıları açık biçimde tanımlanmış bağımsız bir eğitim bileşeni olarak planlanmasının öğrencilerin klinik yeterliliklerini güçlendireceği vurgulanmıştır (Ukoha & Mtshali, 2023). Benzer şekilde öğrencilerin teorik bilgiye sahip olmalarına rağmen bunu klinik uygulamaya aktarmakta güçlük yaşadıkları; bunun temel nedenleri arasında müfredatın yetersiz bütünleştirilmesi, uygulama fırsatlarının sınırlı olması ve öğretim süreçlerinde standardizasyon eksikliği bulunduğu bildirilmektedir (Mukolwe et al., 2024; Elrefay et al., 2025). Klinik uygulama rehberlerini

değerlendiren sistematik inceleme de eğitim programları ile klinik uygulamalar arasındaki uyumun güçlendirilmesinin prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin niteliğini artırmada temel gerekliliklerden biri olduğunu vurgulamaktadır (Dorney et al., 2022).

Sağlık meslekleri eğitiminde bilgi aktarımını merkeze alan geleneksel öğretim anlayışı yerini yeterlilik temelli öğrenme modellerine bırakmaktadır. Bu yaklaşımda öğrencilerin yalnızca teorik bilgi edinmeleri değil; eleştirel düşünme, klinik karar verme, etkili iletişim kurma, danışmanlık sunma ve birey merkezli bakım planlayabilme becerilerini geliştirmeleri hedeflenmektedir. Özellikle prekonsepsiyonel bakım gibi koruyucu sağlık hizmetlerinde öğrencilerin yalnızca "ne yapılacağını" değil, "neden, ne zaman ve nasıl uygulanacağını" klinik bağlam içerisinde değerlendirebilmeleri mesleki yeterliliğin temel göstergelerinden biri olarak kabul edilmektedir (Podder et al., 2025).

Bununla birlikte eğitim programlarının güncellenmesi tek başına yeterli değildir. Öğretim elemanlarının prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi ve deneyimlerinin güçlendirilmesi, standart eğitim materyallerinin geliştirilmesi, klinik öğrenme ortamlarının iyileştirilmesi ve üniversite-sağlık kuruluşu iş birliklerinin artırılması eğitim kalitesini belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır (Caut et al., 2025; Scheele et al., 2023). Ayrıca öğrencilerin farklı klinik senaryolarla karşılaşabilecekleri uygulama ortamlarının oluşturulması, disiplinler arası ekip çalışmalarına katılımlarının desteklenmesi ve düzenli geri bildirim almalarının sağlanması mezuniyet sonrası klinik uyum ve mesleki yeterlilik açısından önemli katkılar sunmaktadır (Bradfield et al., 2023).

Sonuç olarak prekonsepsiyonel bakımın lisans eğitimine etkili biçimde entegre edilmesi, öğrencilerin bilgi ve becerilerini geliştirmenin yanı sıra koruyucu sağlık hizmetlerini benimseyen, kanıta dayalı karar verebilen ve yaşam boyu öğrenme anlayışını mesleki uygulamalarına yansıtan sağlık profesyonellerinin yetişmesine katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte bu entegrasyonun başarısı, müfredat içeriğinin yanı sıra kullanılan öğretim yöntemlerine de bağlıdır. Bu nedenle prekonsepsiyonel bakım eğitiminde yenilikçi, öğrenci merkezli ve uygulama ağırlıklı öğretim yaklaşımları giderek daha fazla önem kazanmakta olup, bu yaklaşımlar bir sonraki bölümde ele alınacaktır.

5. Prekonsepsiyonel Bakım Yetkinliğinin Geliştirilmesinde Yenilikçi Eğitim Yaklaşımları

Sağlık profesyonellerinin prekonsepsiyonel bakım alanındaki yeterliliklerinin geliştirilmesi, yalnızca müfredatta bu konuya yer verilmesiyle sınırlı değildir. Günümüzde sağlık meslekleri eğitiminde yaşanan dönüşüm, öğrencilerin bilgi edinmenin ötesinde klinik karar verme, eleştirel düşünme, etkili iletişim kurma ve danışmanlık becerilerini geliştiren aktif öğrenme yaklaşımlarına yönelimi artırmıştır. Bu doğrultuda çevrim içi öğrenme modülleri, mobil öğrenme uygulamaları, simülasyon temelli öğretim, vaka temelli öğrenme ve yapılandırılmış beceri eğitimleri gibi yenilikçi yöntemlerin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Susanti et al., 2026; Doherty et al., 2022).

Dijital öğrenme teknolojileri, öğrencilerin prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi düzeylerini artırırken öğrenme sürecini daha esnek ve bireyselleştirilmiş hâle getirmektedir. Çevrim içi eğitim modüllerini değerlendiren çalışmalar, öğrencilerin bilgi düzeylerinde, klinik karar verme becerilerinde ve danışmanlık sunmaya yönelik özgüvenlerinde anlamlı gelişmeler

sağlandığını göstermektedir. Bu eğitim modellerinin teorik bilgiyi güncel bilimsel kanıtlarla ilişkilendirdiği ve öğrenmenin sürekliliğini desteklediği bildirilmektedir (Susanti et al., 2026). Benzer şekilde dijital öğrenme platformlarının eleştirel düşünme becerilerini geliştirdiği ve öğrencilerin klinik uygulamaya geçişini kolaylaştırdığı belirtilmektedir (Podder et al., 2025).

Mobil sağlık teknolojileri de prekonsepsiyonel bakım eğitiminde önemli bir yere sahiptir. Öğrenciler için geliştirilen Continuity of Care (CoC) mobil uygulaması; risk değerlendirmesi, danışmanlık, bakım planlaması ve klinik karar verme basamaklarını bütüncül biçimde sunarak teorik bilginin uygulamaya aktarılmasını desteklemektedir. Mobil öğrenme uygulamalarının öğrencilerin kanıta dayalı karar verme, öz değerlendirme yapma ve bakım süreçlerini sistematik biçimde yönetme becerilerini geliştirdiği bildirilmektedir (Susanti et al., 2026).

Yenilikçi eğitim yaklaşımları dijital teknolojilerle sınırlı değildir. Yapılandırılmış eğitim paketleri, öğretim rehberleri ve beceri geliştirme araçlarının öğrencilerin bilgi düzeyini artırmanın yanı sıra danışmanlık becerileri, klinik uygulama yeterlilikleri ve kanıta dayalı karar verme süreçlerini de güçlendirdiği gösterilmiştir (Prosen et al., 2024). Benzer şekilde iletişim ve beslenme danışmanlığına yönelik eğitim programlarının birey merkezli iletişim ve danışmanlık becerilerini anlamlı düzeyde geliştirdiği bildirilmektedir (Caglioni et al., 2026).

Prekonsepsiyonel bakım eğitiminin önemli bileşenlerinden biri de simülasyon ve deneyim temelli öğrenmedir. Gerçek klinik ortamları yansıtan senaryoların kullanıldığı simülasyon eğitimleri, öğrencilerin güvenli ortamlarda klinik karar verme, iletişim, danışmanlık ve bakım planlama becerilerini geliştirmelerine olanak tanımaktadır. Özellikle yüksek gerçeklik düzeyine sahip simülasyon uygulamalarının öz yeterlilik, klinik özgüven ve problem çözme becerilerini artırdığı, mentorluk destekli klinik öğrenme modellerinin ise teorik bilginin uygulamaya aktarılmasını kolaylaştırdığı bildirilmektedir (Podder et al., 2025; Bradfield et al., 2023).

Güncel literatür, hiçbir eğitim yönteminin tek başına yeterli olmadığını göstermektedir. En başarılı sonuçların teorik eğitim, dijital öğrenme, mobil uygulamalar, simülasyon, klinik deneyim, mentorluk ve düzenli geri bildirimin birlikte planlandığı karma (blended) öğrenme modelleriyle elde edildiği bildirilmektedir (Podder et al., 2025; Doherty et al., 2022). Bu yaklaşım, öğrencilerin yalnızca bilgi düzeylerini değil; iletişim, danışmanlık, eleştirel düşünme, klinik karar verme ve profesyonel özgüven gibi mesleki yeterliliklerini de geliştirmektedir.

Sonuç olarak yenilikçi eğitim yaklaşımları, prekonsepsiyonel bakım eğitimini bilgi aktarımına dayalı geleneksel öğretim anlayışından çıkararak öğrencilerin aktif katılımını destekleyen, klinik uygulamayla bütünleşen ve yeterlilik geliştirmeyi merkeze alan bir öğrenme sürecine dönüştürmektedir. Bu yaklaşımların etkili olabilmesi, uygun öğretim teknolojilerinin yanı sıra iletişim, danışmanlık, profesyonel kimlik ve klinik karar verme becerilerini destekleyen güvenli öğrenme ortamlarının oluşturulmasına bağlıdır. Bu nedenle yenilikçi öğretim yöntemleri, profesyonel yetkinliklerin klinik öğrenme sürecinde geliştirilmesiyle birlikte değerlendirilmelidir.

6. Klinik Öğrenme Sürecinde İletişim, Danışmanlık ve Profesyonel Yetkinliklerin Geliştirilmesi

Prekonsepsiyonel bakımın etkili biçimde sunulabilmesi, yalnızca bilimsel bilgiye değil; ebe ve hemşirelerin etkili iletişim kurabilme, bireyin gereksinimlerini bütüncül olarak değerlendirebilme, danışmanlık verebilme ve kanıta dayalı klinik kararlar alabilme yeterliliklerine de bağlıdır. Bu nedenle çağdaş ebelik ve hemşirelik eğitiminde mesleki yeterlilik; bilgi, beceri ve profesyonel tutumun birlikte geliştirildiği çok boyutlu bir yapı olarak ele alınmaktadır (Nypaver & Yeager, 2024; Chingara et al., 2026).

Prekonsepsiyonel bakımın temelini oluşturan danışmanlık süreci, yalnızca sağlık bilgisi aktarmaktan ibaret olmayıp bireyin yaşam koşullarını, sağlık davranışlarını, kültürel özelliklerini ve üreme hedeflerini dikkate alan birey merkezli bir yaklaşımı gerektirmektedir. Bu nedenle mezuniyet öncesinde etkili iletişim kurabilme, danışanla güven ilişkisi oluşturabilme ve bireyselleştirilmiş bakım planlayabilme becerilerinin kazandırılması temel mesleki yeterlilikler arasında yer almaktadır. İletişim ve beslenme danışmanlığına yönelik geliştirilen eğitim programlarının terapötik iletişim, danışmanlık sunma ve birey merkezli bakım planlama becerilerini anlamlı düzeyde geliştirdiği, yapılandırılmış eğitim programlarının ise iletişim becerileri ile klinik uygulama yeterliliklerini birlikte güçlendirdiği gösterilmiştir (Caglioni et al., 2026; Prosen et al., 2024).

Kadın merkezli bakım anlayışı çağdaş ebelik eğitiminin temel felsefelerinden biridir. Özellikle *with woman* yaklaşımı, öğrencilerin kadınların bireysel gereksinimlerini anlayabilen, karar verme süreçlerine aktif katılımı destekleyen ve bakım sürecinde ortaklık kurabilen profesyoneller olarak yetişmelerini hedeflemektedir. Bu yaklaşımın mesleki kimlik gelişimini güçlendirdiği, empatik iletişim becerilerini geliştirdiği ve kadın odaklı bakım anlayışını desteklediği gösterilmiştir (Guerin et al., 2024). Prekonsepsiyonel bakımın büyük ölçüde danışmanlık temelli bir hizmet olması nedeniyle kadın merkezli bakım yaklaşımı bu hizmetlerin niteliğini doğrudan etkileyen temel mesleki yeterliliklerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Profesyonel yetkinliğin geliştirilmesinde öz yeterlilik önemli bir belirleyicidir. Yüksek öz yeterlilik algısına sahip öğrencilerin klinik karar verme süreçlerinde daha başarılı oldukları, danışmanlık sunma konusunda daha istekli davrandıkları ve bakım süreçlerinde daha etkin rol üstlendikleri bildirilmektedir (Yazdizadeh et al., 2024). Öz yeterliliğin gelişiminde teorik eğitimin yanı sıra klinik deneyim, yapılandırılmış geri bildirim ve mentorluk uygulamaları belirleyici rol oynamaktadır (Podder et al., 2025; Bradfield et al., 2023).

Klinik öğrenme süreci, öğrencilerin profesyonel gelişimlerinin ve klinik yeterliliklerinin şekillendiği temel eğitim ortamıdır. Destekleyici klinik öğrenme ortamları, yapılandırılmış geri bildirim ve mentorluk uygulamalarının öğrencilerin klinik uyumunu, mesleki özgüvenini ve profesyonel gelişimini güçlendirdiği gösterilmiştir (Podder et al., 2025). Ayrıca güvenli öğrenme ortamları ve deneyimli eğiticilerden alınan düzenli geri bildirimlerin öğrencilerin öğrenme motivasyonunu artırdığı, hata yapma kaygısını azalttığı ve profesyonel kimlik gelişimini desteklediği bildirilmektedir (Podder et al., 2025; Guerin et al., 2024). Bu nedenle klinik eğitim, yalnızca teknik becerilerin öğretildiği bir süreç değil, aynı zamanda etik duyarlılık, profesyonel olgunlaşma ve mesleki kimliğin gelişimini destekleyen bir öğrenme ortamı olarak değerlendirilmelidir.

Tüm bu bulgular, prekonsepsiyonel bakım alanında yetkin sağlık profesyonelleri yetiştirmenin yalnızca bilgi düzeyinin artırılmasıyla mümkün olmadığını göstermektedir. Bilgi, klinik beceri, iletişim, danışmanlık, öz yeterlilik ve kadın merkezli bakım anlayışının birlikte geliştirilmesi, geleceğin ebe ve hemşirelerinin prekonsepsiyonel bakım hizmetlerini etkili, güvenli ve birey merkezli biçimde sunabilmeleri açısından temel gerekliliklerden biridir. Bu nedenle eğitim programlarının, yalnızca bilgi aktarımını hedefleyen yapılardan çıkarılarak profesyonel yetkinliği çok boyutlu biçimde geliştiren öğrenme ortamları olarak yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Bu dönüşüm, ebek ve hemşirelik eğitiminde geleceğe yönelik yapısal değişim gereksinimlerinin de temelini oluşturmaktadır.

7. Geleceğin Ebek ve Hemşirelik Eğitiminde Prekonsepsiyonel Bakıma Yönelik Dönüşüm Gereksinimleri

Prekonsepsiyonel bakımın sağlık sistemleri içerisindeki önemi giderek daha fazla kabul görmesine rağmen, bu alandaki eğitim uygulamalarının ülkeler ve kurumlar arasında önemli farklılıklar gösterdiği bildirilmektedir. Güncel çalışmalar, öğrencilerin bilgi düzeylerini artırmaya yönelik girişimlerin artmasına karşın eğitim programlarının kapsamı, öğretim yöntemleri, klinik uygulama standartları ve yeterlilik değerlendirme süreçleri bakımından ortak bir yaklaşımın henüz oluşturulmadığını ortaya koymaktadır (Caut et al., 2025; Scheele et al., 2023). Bu durum, mezun olan ebe ve hemşirelerin prekonsepsiyonel bakım yeterliliklerinde değişkenliğe neden olmakta ve hizmet sunumunun standardizasyonunu güçleştirmektedir.

Literatürde en sık vurgulanan gereksinimlerden biri, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca kadın sağlığı dersleri içerisinde sınırlı biçimde ele alınması yerine lisans eğitiminin tümüne yayılan bütüncül bir yeterlilik alanı olarak yapılandırılmasıdır. Risk değerlendirmesi, kronik hastalık yönetimi, yaşam tarzı danışmanlığı, genetik danışmanlık, çevresel sağlık, ruh sağlığı, infertilite, aile planlaması ve interkonsepsiyonel bakım gibi konuların yaşam döngüsü yaklaşımı doğrultusunda bütünleştirilmiş bir eğitim modeli içerisinde sunulması önerilmektedir (Chingara et al., 2026; Dorney et al., 2022). Böylece öğrencilerin farklı derslerde kazandıkları bilgi ve becerileri klinik uygulamalara bütüncül biçimde aktarabilmeleri desteklenecektir.

Dönüşüm gereksinimi yalnızca müfredat içeriğiyle sınırlı olmayıp öğretim yöntemlerini de kapsamaktadır. Bilgi aktarımına dayalı geleneksel eğitim modelleri yerini problem temelli öğrenme, vaka tartışmaları, simülasyon uygulamaları, dijital öğrenme platformları ve disiplinler arası öğrenme yaklaşımlarına bırakmaktadır. Özellikle prekonsepsiyonel bakım gibi danışmanlık, iletişim ve klinik karar verme becerilerinin ön planda olduğu alanlarda gerçek yaşam senaryolarına dayalı eğitimlerin mesleki yeterlilikleri anlamlı düzeyde geliştirdiği bildirilmektedir (Susanti et al., 2026; Prosen et al., 2024). Bu nedenle geleceğin eğitim programlarının bilgi aktarımının yanı sıra klinik muhakeme, iletişim, ekip çalışması ve profesyonel karar verme becerilerini de sistematik biçimde geliştirmesi beklenmektedir.

Sürdürülebilir eğitim dönüşümünün önemli bileşenlerinden biri öğretim elemanlarının sürekli mesleki gelişiminin desteklenmesidir. Güncel sistematik derlemeler, birçok eğitim kurumunda öğretim elemanlarının prekonsepsiyonel bakım konusunda ek eğitim gereksinimi duyduklarını göstermektedir. Bu doğrultuda standart eğitim materyallerinin geliştirilmesi, güncel klinik rehberlerin öğretim süreçlerine entegre edilmesi, üniversite-sağlık kuruluşu iş birliklerinin

güçlendirilmesi ve klinik eğitim ortamlarının iyileştirilmesi önerilmektedir (Caut et al., 2025; Doherty et al., 2022). Ayrıca toplum temelli uygulamalar, farklı klinik ortamlarda deneyim kazanılması ve disiplinler arası ekip çalışmalarına katılımın öğrencilerin mesleki gelişimini desteklediği bildirilmektedir (Podder et al., 2025; Bradfield et al., 2023).

Dijital sağlık teknolojilerindeki gelişmeler, prekonsepsiyonel bakım eğitimi için önemli fırsatlar sunmaktadır. Mobil öğrenme uygulamaları, çevrim içi klinik senaryolar, dijital karar destek sistemleri ve yapay zekâ destekli eğitim platformlarının öğrencilerin bireysel öğrenme süreçlerini desteklediği, güncel bilimsel kanıtlara erişimi kolaylaştırdığı ve yaşam boyu öğrenme anlayışını güçlendirdiği bildirilmektedir (Susanti et al., 2026). Bununla birlikte bu teknolojilerin, geleneksel klinik eğitimin yerine geçen uygulamalar olarak değil; klinik deneyimi tamamlayan ve karar verme ile uygulama becerilerini destekleyen araçlar olarak kullanılması gerektiği vurgulanmaktadır (Doherty et al., 2022).

Güncel literatür, prekonsepsiyonel bakım eğitiminin yalnızca yeni dersler eklenerek geliştirilemeyeceğini; müfredatın yeniden yapılandırılmasını, yeterlilik temelli öğrenme yaklaşımının benimsenmesini, öğretim elemanlarının sürekli mesleki gelişiminin desteklenmesini, dijital teknolojilerin eğitim süreçlerine entegrasyonunu ve klinik öğrenme ortamlarının güçlendirilmesini kapsayan bütüncül bir dönüşüme ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Böyle bir dönüşüm, öğrencilerin mesleki yeterliliklerini artırmanın yanı sıra prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin niteliğinin geliştirilmesine, koruyucu sağlık hizmetlerinin güçlendirilmesine ve anne ile çocuk sağlığı sonuçlarının iyileştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

8. SONUÇ

Prekonsepsiyonel bakım, gebelik öncesi dönemde sağlık risklerinin belirlenmesi ve yönetilmesinin ötesinde, yaşam boyu sağlık yaklaşımını temel alan, anne, bebek ve toplum sağlığının geliştirilmesinde stratejik öneme sahip koruyucu sağlık hizmetlerinden biridir. Bu hizmetlerin etkin biçimde sunulabilmesi, yalnızca klinik rehberlerin ve sağlık politikalarının varlığına değil, aynı zamanda prekonsepsiyonel bakım konusunda bilgi, beceri, danışmanlık yeterliliği ve profesyonel yetkinlik kazanmış ebe ve hemşirelerin yetiştirilmesine de bağlıdır.

Bu derlemede değerlendirilen güncel kanıtlar, prekonsepsiyonel bakımın sağlık meslekleri eğitiminde daha görünür, sistematik ve yeterlilik temelli bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bulgular, öğrencilerin bilgi, beceri ve öz yeterliliklerinin geliştirilmesinde yalnızca teorik eğitimin yeterli olmadığını; yapılandırılmış müfredat, dijital öğrenme teknolojileri, simülasyon uygulamaları, klinik mentorluk, deneyim temelli öğrenme ve disiplinler arası eğitim yaklaşımlarının birlikte kullanıldığı bütüncül eğitim modellerinin daha etkili sonuçlar sağladığını göstermektedir. Bunun yanında iletişim, danışmanlık, klinik muhakeme, kadın merkezli bakım, profesyonel kimlik gelişimi ve kanıta dayalı karar verme becerilerinin eğitim sürecinin ayrılmaz bileşenleri olarak ele alınması, öğrencilerin prekonsepsiyonel bakım hizmetlerini güvenli, etkili ve birey merkezli biçimde sunabilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Geleceğin ebe ve hemşirelerinin prekonsepsiyonel bakım alanında etkin rol üstlenebilmeleri için bu konunun lisans eğitim programlarında temel yeterlilik alanlarından biri olarak

yapılandırılması, teori ile klinik uygulamanın bütünleştirilmesi ve öğrencilerin farklı öğrenme deneyimleriyle desteklenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte eğitim programlarının uluslararası yeterlilikler doğrultusunda düzenli olarak güncellenmesi, öğretim elemanlarının sürekli mesleki gelişimlerinin desteklenmesi, dijital sağlık teknolojilerinin eğitim süreçlerine uygun biçimde entegre edilmesi ve disiplinler arası iş birliğini güçlendiren öğrenme ortamlarının oluşturulması, prekonsepsiyonel bakım eğitiminin sürdürülebilirliğini destekleyecek temel stratejiler arasında yer almaktadır.

Prekonsepsiyonel bakımın geleceği, bu alanda görev alacak sağlık profesyonellerinin eğitim niteliğiyle doğrudan ilişkilidir. Ebelik ve hemşirelik eğitiminde gerçekleştirilecek bilimsel, teknolojik ve pedagojik dönüşümler yalnızca mezunların mesleki yetkinliklerini güçlendirmekle kalmayacak; prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin yaygınlaştırılmasına, koruyucu sağlık hizmetlerinin etkinliğinin artırılmasına ve anne, bebek ile toplum sağlığının geliştirilmesine uzun vadeli katkılar sağlayacaktır. Bununla birlikte gelecekte yürütülecek araştırmalarda, prekonsepsiyonel bakım eğitime yönelik farklı öğretim modellerinin uzun dönemli etkilerinin değerlendirilmesi ve uluslararası ortak yeterlilik standartlarının geliştirilmesi, bu alandaki eğitim uygulamalarının güçlendirilmesine önemli katkılar sunacaktır.

KAYNAKLAR

- Bawah, R. K., Abiiro, G. A., Aninanya, G. A., & Sackeyuah, B. (2025). An exploratory study on midwives' perceptions of the availability of preconception care in health facilities in the Kpandai District of Northern Ghana. *PLOS Global Public Health*, 5(8), e0003850. <https://doi.org/10.1371/journal.pgph.0003850>
- Bradfield, Z., Leefhelm, E., Soh, S.-E., Black, K. I., Boyle, J. A., Kuliukas, L., Harrison, C., Homer, C. S. E., Smith, R. M., & Skouteris, H. (2023). The MidPIC study: Midwives' knowledge, perspectives and learning needs regarding preconception and interconception care. *PLOS ONE*, 18(11), e0289910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289910>
- Caglioni, M., Odelli, V., Ghisleni, P., Marostica, V., Celi, E., Trapani, S., Cigoli, B., Rinaldi, S., Salvatore, S., & Candiani, M. (2026). Improving midwifery students' communication and counseling skills in maternal nutrition: A quality improvement educational initiative. *Journal of Midwifery & Women's Health*. <https://doi.org/10.1111/jmwh.70132>
- Caut, C., Schoenaker, D., McIntyre, E., & Steel, A. (2025). Health professionals' beliefs and attitudes towards preconception care: A systematic review. *BMC Health Services Research*, 25, 1023. <https://doi.org/10.1186/s12913-025-13246-y>
- Chingara, O., Sümegi, A., Logan, S., Bhattacharya, S., & Woolner, A. (2026). What do we mean by preconception health and preconception care in research and policy? A systematic review. *Human Reproduction Update*, 32(4), 471–487. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmag005>
- Doherty, E., Kingsland, M., Wiggers, J., Wolfenden, L., Hall, A., McCrabb, S., et al. (2022). The effectiveness of implementation strategies in improving preconception and antenatal

preventive care: A systematic review. *Implementation Science Communications*, 3, 121.
<https://doi.org/10.1186/s43058-022-00368-1>

Dorney, E., Boyle, J. A., Walker, R., Hammarberg, K., Musgrave, L., Schoenaker, D., Jack, B., & Black, K. I. (2022). A systematic review of clinical guidelines for preconception care. *Seminars in Reproductive Medicine*, 40(3–4), 157–169. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1748190>

Elrefay, B. W., Elkasaby, G., Bassiouny, S., Mohammed, A., Youssef, M., El-Nemer, A., & Al Khouli, M. (2025). Empowering Futures: The Effect of a Teaching program on University Students' Knowledge and Attitude Toward Preconception Care. *Mansoura Nursing Journal*, 12(2).

Guerin, A., Geraghty, S., McChlery, S., & Byrne, M. (2024). Midwifery students' experiences of learning to be 'with woman': A scoping review. *British Journal of Midwifery*, 32(8), 422–430. <https://doi.org/10.12968/bjom.2024.32.8.422>

Hussein, N., Kai, J., & Qureshi, N. (2016). The effects of preconception interventions on improving reproductive health and pregnancy outcomes in primary care: A systematic review. *European Journal of General Practice*, 22(1), 42–52. <https://doi.org/10.3109/13814788.2015.1099039>

Maki, S., Al Awar, S., Alhosani, S., Alshamsi, L., Alzaabi, S., Alsaadi, M. A., Alhammadi, M., Alhosani, H., Salam, G. S., Wójtowicz, S., & Zaręba, K. (2025). Awareness and knowledge about preconception healthcare: A cross-sectional study of early years UAE medical students. *Journal of Clinical Medicine*, 14(1), 181. <https://doi.org/10.3390/jcm14010181>

Mukolwe, L., Mbuthia, G., & Akolo, M. (2024). Factors influencing the delivery of preconception care services among nursing and midwifery students at Aga Khan University, Kenya. *Eastern African Journal of Humanities and Social Sciences*, 3(1), 29–42. <https://doi.org/10.58721/eajhss.v3i1.451>

Mulyaningsih, E. A., Anggraeni, N., & Amalia, A. (2024). Optimizing pregnancy outcomes: The importance of pre-marital and preconception care. *Proceedings of the 4th International Conference on Multidisciplinary Studies*.

Nypaver, C., & Yeager, A. (2024). Innovations in preconception care: Optimizing health for all individuals. *Journal of Midwifery & Women's Health*, 69(6), 897–905. <https://doi.org/10.1111/jmwh.13681>

Podder, L., Bhardwaj, G., Saptarshi, A., Devi, S., Patel, S., & Dimple, K. (2025). Revitalizing midwifery education: Overcoming challenges and enhancing clinical learning experiences. *Journal of Education and Health Promotion*, 14, 241.

Prosen, M., Žvanut, B., Pucer, P., Petročnik, P., & Mivšek, A. P. (2024). Evaluation of a didactic toolkit for promoting preconception health among nursing and midwifery students. *International Journal of Health Promotion and Education*, 62(4), 298–309. <https://doi.org/10.1080/14635240.2022.2062612>

- Scheele, J., Schoenaker, D. A. J. M., Hammarberg, K., Fransen, M. P., van der Kleij, R. M. J. J., & van Dijk, M. R. (2023). Current preconception care practice in the Netherlands: An evaluation study among birth care professionals. *Midwifery*, 127, 103855. <https://doi.org/10.1016/j.midw.2023.103855>
- Susanti, A. I., Mandiri, A., Novitasari, A., Silmi, H., Didah, Adnani, Q. E. S., & McKenna, L. (2026). *Integration of competency needs and continuity of care learning for midwifery students based on mobile applications in Indonesia: A mixed-methods study*. *Belitung Nursing Journal*, 12(2), 250–260. <https://doi.org/10.33546/bnj.4446>
- Ukoha, W. C., & Mtshali, N. G. (2023). Integration of preconception care into the bachelor of nursing curriculum: An exploratory qualitative study. *Heliyon*, 9(2), e13073. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13073>
- Yazdizadeh, V., Roshandel, S., Hoorsan, R., & Shishegar, F. (2024). Self-efficacy and its related factors among midwifery students of Tehran Islamic Azad University of Medical Sciences. *Knowledge of Nursing Journal*, 2(2), 144–152.
- Zelege, A. M., Tassew, W. C., Assefa, G. W., & Ferede, Y. A. (2025). Healthcare providers' preconception care practice and associated factors in Ethiopia: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Health Services*, 5, 1226206. <https://doi.org/10.3389/frhs.2025.1226206>

PREKONSEPSİYONEL BAKIMDA DÖNÜŞÜM: BİRİNCİ BASAMAK UYGULAMALARI VE KÜRESEL KANITLAR IŞIĞINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Arş. Gör. Dr. Seda GÜRAY

Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ebelik Bölümü, Mersin, Türkiye
E-posta: sedaguray@tarsus.edu.tr – ORCID: 0000-0002-3001-5639

Doç. Dr. Özlem KOÇ

Tarsus Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Ebelik Bölümü, Mersin, Türkiye
E-posta: ozlemkoc@tarsus.edu.tr – ORCID ID: 0000-0002-6751-1206

ÖZET

Prekonsepsiyonel bakım, gebelik öncesi dönemde biyomedikal, davranışsal ve sosyal risk faktörlerinin belirlenmesi ve yönetilmesini sağlayarak maternal ve perinatal sağlığın geliştirilmesini amaçlayan koruyucu sağlık hizmetlerinin temel bileşenlerinden biridir. Son yıllarda prekonsepsiyonel bakımın anne ve bebek sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini ortaya koyan bilimsel kanıtların artmasına rağmen, bu hizmetlerin rutin sağlık sistemlerine entegrasyonu ve kullanım düzeyi birçok ülkede istenilen seviyeye ulaşamamıştır. Bu derlemede, güncel uluslararası literatür doğrultusunda prekonsepsiyonel bakımın kapsamı, temel bileşenleri, birinci basamak sağlık hizmetlerindeki yeri, sağlık profesyonellerinin rolü, hizmetlerden yararlanmayı etkileyen bireysel ve sistem düzeyindeki faktörler ile anne ve bebek sağlığı üzerindeki etkileri bütüncül bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Güncel sistematik derlemeler ve meta-analizler, prekonsepsiyonel bakımın sağlık bilgisi ve sağlıklı yaşam davranışlarını geliştirdiğini, gebelik öncesi risklerin azaltılmasına katkı sağladığını ve uygun risk yönetimi ile maternal ve perinatal sonuçların iyileştirilmesinde önemli rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte sağlık profesyonellerinin bilgi ve uygulama yeterlilikleri, kadınların sağlık okuryazarlığı, gebelik planlaması, hizmetlere erişim olanakları ve birinci basamak sağlık hizmetlerinin organizasyonu, prekonsepsiyonel bakımın etkinliğini belirleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, prekonsepsiyonel bakımın birinci basamak sağlık hizmetlerine sistematik biçimde entegre edilmesi, sağlık profesyonellerinin güncel kanıta dayalı uygulamalar doğrultusunda desteklenmesi ve kadınların gebelik öncesi dönemde koruyucu sağlık hizmetlerine erişiminin güçlendirilmesi, anne ve bebek sağlığının sürdürülebilir biçimde iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Prekonsepsiyonel bakım; Birinci basamak sağlık hizmetleri; Koruyucu sağlık hizmetleri; Anne sağlığı; Gebelik öncesi danışmanlık

TRANSFORMING PRECONCEPTION CARE: CONTEMPORARY APPROACHES IN THE LIGHT OF PRIMARY CARE PRACTICES AND GLOBAL EVIDENCE

Res. Assist. Dr. Seda GÜRAY

Tarsus University, Faculty of Health Sciences, Department of Midwifery, Mersin, Türkiye
E-mail: sedaguray@tarsus.edu.tr – ORCID: 0000-0002-3001-5639

Assoc. Prof. Dr. Özlem KOÇ

Tarsus University, Faculty of Health Sciences, Department of Midwifery, Mersin, Türkiye
E-mail: ozlemkoc@tarsus.edu.tr – ORCID: 0000-0002-6751-1206

ABSTRACT

Preconception care is one of the fundamental components of preventive healthcare, aiming to improve maternal and perinatal health through the identification and management of biomedical, behavioral, and social risk factors before pregnancy. Although growing scientific evidence has demonstrated the positive effects of preconception care on maternal and neonatal outcomes, its integration into routine healthcare services and utilization rates remain suboptimal in many countries. This review comprehensively evaluates the current international literature on the scope and core components of preconception care, its role within primary healthcare services, the responsibilities of healthcare professionals, individual and system-level factors influencing service utilization, and its effects on maternal and neonatal outcomes. Current systematic reviews and meta-analyses indicate that preconception care enhances health knowledge and healthy lifestyle behaviors, contributes to reducing pre-pregnancy risk factors, and plays a significant role in improving maternal and perinatal outcomes through effective risk management. However, healthcare professionals' knowledge and clinical competencies, women's health literacy, pregnancy planning, accessibility of healthcare services, and the organization of primary healthcare systems remain key determinants of the effectiveness of preconception care. Strengthening the systematic integration of preconception care into primary healthcare, supporting healthcare professionals through evidence-based practices, and improving women's access to preventive healthcare services before pregnancy may substantially contribute to sustainable improvements in maternal and neonatal health.

Keywords: Preconception care; Preconception counseling; Primary health care; Preventive health services; Maternal health

1. GİRİŞ

Maternal ve yenidoğan sağlığının iyileştirilmesine yönelik küresel ilerlemelere rağmen, gebelikle ilişkili morbidite ve mortalite dünya genelinde önemli bir halk sağlığı sorunu olmaya devam etmektedir. Günümüzde bu olumsuz sonuçların yalnızca gebelik sırasında gelişen komplikasyonlardan değil, gebelik öncesinde mevcut olan biyomedikal, davranışsal, çevresel ve sosyoekonomik risk faktörlerinden de önemli ölçüde etkilendiği kabul edilmektedir (Tekalign et al., 2021; Abneh et al., 2025). Bu doğrultuda üreme sağlığı hizmetlerinde yaşanan paradigma değişimi, antenatal bakımın tek başına yeterli olmadığını ortaya koymuş ve sağlıklı gebeliklerin desteklenmesi için gebelik öncesi dönemde risklerin belirlenmesi ve yönetilmesini esas alan prekonsepsiyonel bakım yaklaşımını ön plana çıkarmıştır (Dorney et al., 2022; Caut

et al., 2025). Günümüzde prekonsepsiyonel bakım, yalnızca gebeliğe hazırlık süreci olarak değil, kadın, fetus ve gelecek nesillerin sağlığını yaşam döngüsü yaklaşımı çerçevesinde ele alan temel koruyucu sağlık hizmetlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca bakımın gebelik öncesinden başlayarak gebelik, doğum ve doğum sonrasını kapsayan süreklilik anlayışıyla planlanması, maternal ve neonatal sonuçların iyileştirilmesinde önemli bir yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Hussein et al., 2016; Dorney et al., 2022).

Prekonsepsiyonel bakım; üreme çağındaki kadınların ve gerektiğinde eşlerinin gebelik öncesinde sağlık durumlarının değerlendirilmesi, olası risk faktörlerinin belirlenmesi ve bu risklerin kanıta dayalı girişimlerle azaltılmasını amaçlayan kapsamlı bir bakım modelidir (Dorney et al., 2022). Bu yaklaşım, üreme planlaması, kronik hastalıkların yönetimi, beslenmenin iyileştirilmesi, mikronütrient desteği, enfeksiyonlardan korunma, genetik danışmanlık, ilaç kullanımının gözden geçirilmesi ve sağlıklı yaşam davranışlarının desteklenmesi gibi birbirini tamamlayan müdahaleleri içermektedir (Hussein et al., 2016; Dorney et al., 2022). Özellikle embriyonik gelişimin en kritik döneminin gebeliğin ilk haftalarında gerçekleşmesi ve birçok kadının bu süreçte henüz gebeliğinin farkında olmaması nedeniyle, modifiye edilebilir risk faktörlerinin gebelik oluşmadan önce belirlenmesi ve yönetilmesi maternal ve perinatal sonuçların iyileştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır (Nkrumah et al., 2020; Wahabi et al., 2020).

Prekonsepsiyonel bakımın etkinliği son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler ve meta-analizlerle güçlü biçimde desteklenmektedir. Özellikle pregestasyonel diyabetli kadınlarda uygulanan prekonsepsiyonel bakımın konjenital malformasyon, perinatal mortalite ve diğer olumsuz gebelik sonuçlarını azaltırken glisemik kontrolü iyileştirdiği gösterilmiştir (Wahabi et al., 2020). Benzer şekilde, genel obstetrik popülasyonda yürütülen araştırmalar da prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanmanın düşük doğum ağırlığı, preterm doğum ve diğer olumsuz doğum sonuçlarının azaltılmasıyla ilişkili olduğunu göstermektedir (Jourabchi et al., 2019). Birinci basamakta yürütülen prekonsepsiyonel eğitim ve danışmanlık girişimlerinin kadınların bilgi düzeyi, öz yeterlilikleri ve sağlık davranışları üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu; sağlık profesyonellerine yönelik uygulama stratejilerinin ise kanıta dayalı önerilerin klinik uygulamaya aktarılmasını kolaylaştırdığı bildirilmektedir (Hussein et al., 2016; Doherty et al., 2022; Withanage et al., 2022). Bununla birlikte, elde edilen güçlü kanıtlara rağmen prekonsepsiyonel bakımın rutin sağlık hizmetlerine entegrasyonu ve toplum düzeyindeki yaygınlığı birçok ülkede istenilen düzeye ulaşamamıştır (Tekalign et al., 2021; Abneh et al., 2025; Goshu et al., 2026).

Literatürde yayımlanan güncel çalışmalar, prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin yaygınlaştırılmasının önünde bireysel, mesleki ve sağlık sistemi kaynaklı çok sayıda engel bulunduğunu göstermektedir. Kadınların bilgi ve farkındalık düzeylerinin yetersiz olması, sağlık profesyonellerinin bilgi ve uygulama farklılıkları, klinik rehberlerin rutin uygulamaya yeterince yansıtılamaması ve hizmet sunumundaki organizasyonel güçlükler, prekonsepsiyonel bakımın etkin biçimde uygulanmasını sınırlandıran başlıca faktörler arasında yer almaktadır (Kassa & Hadra, 2021; Caut et al., 2025; Zeleke et al., 2025; Hidayah et al., 2025). Buna karşılık güncel kanıtlar; birinci basamak sağlık hizmetlerinin güçlendirilmesi, sağlık profesyonellerinin eğitimlerinin geliştirilmesi, kanıta dayalı klinik rehberlerin yaygınlaştırılması ve dijital sağlık

uygulamalarının bakım süreçlerine entegrasyonunun prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin etkinliğini artırabilecek önemli stratejiler olduğunu göstermektedir (Doherty et al., 2022; Musgrave et al., 2023; Scheele et al., 2023).

Son yıllarda prekonsepsiyonel bakım konusunda sağlık profesyonellerinin bilgi ve tutumları, hizmet kullanım düzeyi, klinik rehberler, dijital müdahaleler ve belirli hasta gruplarına yönelik uygulamaları inceleyen çok sayıda sistematik derleme yayımlanmış olmasına rağmen, mevcut çalışmaların büyük bölümü prekonsepsiyonel bakımın belirli bileşenlerine odaklanmaktadır. Buna karşın, prekonsepsiyonel bakımın kapsamını, birinci basamak sağlık hizmetlerindeki yerini, güncel uygulama stratejilerini, hizmet sunumunu etkileyen bireysel ve sistem düzeyindeki faktörleri ile anne ve bebek sağlığı üzerindeki etkilerini bütüncül bir bakış açısıyla sentezleyen güncel derlemelerin sayısı sınırlıdır. Bu nedenle bu derlemede, güncel uluslararası literatür doğrultusunda prekonsepsiyonel bakımın temel bileşenleri, birinci basamak sağlık hizmetlerindeki rolü, hizmet sunumunu etkileyen bireysel ve sistem düzeyindeki faktörler ile anne ve bebek sağlığı üzerindeki etkileri kanıta dayalı bir yaklaşımla değerlendirilmiş; klinik uygulama, ebelik bakımı ve sağlık politikalarına yönelik güncel öneriler sunulmuştur.

2. PREKONSEPSİYONEL BAKIMIN KAPSAMI VE TEMEL BİLEŞENLERİ

Prekonsepsiyonel bakım, gebelik öncesi dönemde kadınların ve çiftlerin sağlık durumunu bütüncül bir yaklaşımla değerlendirerek olası risk faktörlerini belirlemeyi, bu riskleri kanıta dayalı müdahalelerle azaltmayı ve sağlıklı gebeliklerin oluşmasını desteklemeyi amaçlayan kapsamlı bir koruyucu sağlık hizmetidir (Dorney et al., 2022). Günümüzde prekonsepsiyonel bakım yalnızca planlı gebelik gerçekleştirmek isteyen kadınlara yönelik bir danışmanlık hizmeti olarak değil, üreme çağındaki tüm bireylerin sağlık düzeyini geliştirmeyi hedefleyen yaşam döngüsü temelli bir bakım modeli olarak değerlendirilmektedir (Hussein et al., 2016; Caut et al., 2025). Bu yaklaşımın temel amacı, gebelik oluşmadan önce mevcut biyomedikal, davranışsal ve sosyal risk faktörlerini belirleyerek bunların maternal, fetal ve neonatal sonuçlar üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmektir (Dorney et al., 2022).

Prekonsepsiyonel bakımın temel bileşenlerinden biri üreme planlaması ve gebelik niyetinin değerlendirilmesidir. Gebeliğin planlı gerçekleşmesi, gebelik öncesinde gerekli sağlık değerlendirmelerinin yapılmasına, koruyucu girişimlerin zamanında uygulanmasına ve kronik hastalıkların optimal düzeyde yönetilmesine olanak sağlamaktadır (Hussein et al., 2016). Buna karşılık plansız gebelikler, folik asit kullanımının gecikmesi, kronik hastalıkların kontrolsüz seyretmesi ve zararlı yaşam alışkanlıklarının devam etmesi nedeniyle olumsuz gebelik sonuçları açısından daha yüksek risk taşımaktadır (Nkrumah et al., 2020). Bu nedenle güncel rehberlerde, üreme çağındaki tüm kadınlarla rutin sağlık başvurularında gebelik planlarının değerlendirilmesi ve bireyselleştirilmiş danışmanlık hizmetlerinin sunulması önerilmektedir (Dorney et al., 2022).

Kapsamlı prekonsepsiyonel bakımın önemli bileşenlerinden biri de mevcut sağlık durumunun ayrıntılı biçimde değerlendirilmesidir. Bu değerlendirme; diyabet, hipertansiyon, tiroid hastalıkları, epilepsi, otoimmün hastalıklar ve obezite gibi kronik hastalıkların yanı sıra önceki obstetrik öykü, kullanılan ilaçlar, genetik hastalık öyküsü, ruh sağlığı, enfeksiyon riski ve çevresel maruziyetlerin sistematik olarak gözden geçirilmesini kapsamaktadır (Dorney et al.,

2022). Özellikle kronik hastalıkların gebelik öncesinde uygun şekilde kontrol altına alınmasının maternal ve perinatal komplikasyonların azaltılmasında önemli katkı sağladığı gösterilmiştir (Wahabi et al., 2020). Bu nedenle risk değerlendirmesi yalnızca mevcut hastalıkların belirlenmesini değil, gebelik sürecini etkileyebilecek tüm klinik ve davranışsal faktörlerin bütüncül biçimde ele alınmasını gerektirmektedir (Hussein et al., 2016).

Beslenme durumunun değerlendirilmesi ve sağlıklı yaşam davranışlarının desteklenmesi de prekonsepsiyonel bakımın temel unsurları arasında yer almaktadır. Sağlıklı vücut ağırlığının korunması, dengeli beslenmenin desteklenmesi, düzenli fiziksel aktivitenin teşvik edilmesi ve mikronütrient eksikliklerinin giderilmesi gebelik öncesi bakımın vazgeçilmez bileşenleridir (Nkrumah et al., 2020). Özellikle folik asit desteğinin konsepsiyondan önce başlanması nörall tüp defektlerinin önlenmesindeki etkinliği uzun yıllardır bilinmekte olup güncel klinik önerilerde önemini korumaktadır (Hussein et al., 2016). Bunun yanında demir, iyot ve diğer vitamin-mineral eksikliklerinin belirlenmesi, obezite ve yetersiz beslenmenin yönetimi ile sağlıklı yaşam alışkanlıklarının geliştirilmesi hem maternal sağlık durumunun iyileştirilmesine hem de gebelik sürecinin daha sağlıklı ilerlemesine katkı sağlamaktadır (Dorney et al., 2022). Son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler, gebelik öncesinde sağlıklı beslenme, düzenli fiziksel aktivite ve yaşam tarzı değişikliklerini hedefleyen müdahalelerin sağlık davranışlarını iyileştirdiğini ve gebelik öncesi risk faktörlerinin azaltılmasına katkı sağladığını göstermektedir (Hussein et al., 2016; Musgrave et al., 2023; Nkrumah et al., 2020).

Prekonsepsiyonel bakım yalnızca fiziksel sağlığın değerlendirilmesiyle sınırlı değildir. Psikososyal iyilik hâli, aile içi şiddet öyküsü, ruh sağlığı sorunları, alkol, tütün ve madde kullanımı gibi davranışsal risk faktörleri de bakımın ayrılmaz bileşenleri arasında yer almaktadır (Dorney et al., 2022). Son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler, sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesine yönelik eğitim ve danışmanlık girişimlerinin kadınların bilgi düzeyi, öz yeterlilikleri ve sağlık davranışlarında anlamlı iyileşmeler sağladığını göstermektedir (Hussein et al., 2016). Ayrıca dijital sağlık uygulamaları ve mobil sağlık teknolojilerinin bireyselleştirilmiş danışmanlık, davranış değişikliğinin desteklenmesi ve bakımın sürekliliğinin sağlanmasında umut verici araçlar olduğu bildirilmektedir (Musgrave et al., 2023).

Prekonsepsiyonel bakımın etkili biçimde uygulanabilmesi için tüm bu bileşenlerin standart bir kontrol listesi şeklinde değil, bireyin yaşı, sağlık durumu, obstetrik öyküsü, yaşam koşulları ve gebelik planı doğrultusunda kişiselleştirilmiş bir yaklaşımla değerlendirilmesi gerekmektedir (Dorney et al., 2022). Güncel kanıtlar, bireyselleştirilmiş risk değerlendirmesini temel alan prekonsepsiyonel bakım modellerinin yalnızca sağlık davranışlarını geliştirmekle kalmadığını, aynı zamanda gebelik öncesi risklerin erken belirlenmesini kolaylaştırarak anne ve bebek sağlığının iyileştirilmesine katkı sağladığını göstermektedir (Hussein et al., 2016; Wahabi et al., 2020). Bu nedenle prekonsepsiyonel bakımın temel bileşenlerinin sistematik ve bütüncül biçimde uygulanması, koruyucu sağlık hizmetlerinin etkinliğini artıran en önemli basamaklardan biri olarak kabul edilmektedir.

3. BİRİNCİ BASAMAK SAĞLIK HİZMETLERİNDE PREKONSEPSİYONEL BAKIMIN GÜÇLENDİRİLMESİ

Prekonsepsiyonel bakımın toplum genelinde yaygınlaştırılabilmesi ve sürdürülebilir bir koruyucu sağlık hizmeti modeli hâline getirilebilmesi, hizmetlerin bireylerin sağlık sistemiyle ilk temas noktası olan birinci basamak sağlık kuruluşlarına etkin biçimde entegre edilmesine bağlıdır (Hussein et al., 2016; Withanage et al., 2022). Birinci basamak sağlık hizmetleri; risk değerlendirmesi, sağlık eğitimi, danışmanlık, kronik hastalık izlemi ve koruyucu sağlık uygulamalarının sürekliliğini sağlayan yapısı sayesinde prekonsepsiyonel bakımın uygulanması için en uygun hizmet basamağını oluşturmaktadır (Dorney et al., 2022). Üreme çağındaki kadınların büyük çoğunluğunun gebelik öncesi dönemde en az bir kez birinci basamak sağlık hizmetlerinden yararlanması, bu hizmet basamağını prekonsepsiyonel bakımın yaygınlaştırılmasında stratejik bir konuma taşımaktadır (Hussein et al., 2016).

Birinci basamakta sunulan prekonsepsiyonel bakımın temelini, gebelik planı bulunan ya da üreme çağında olan kadınların sistematik biçimde değerlendirilmesi oluşturmaktadır. Bu değerlendirme kapsamında gebelik niyetinin sorgulanması, obstetrik ve tıbbi öykünün gözden geçirilmesi, kronik hastalıkların kontrolünün sağlanması, kullanılan ilaçların gebelik açısından yeniden değerlendirilmesi, bağışıklama durumunun incelenmesi, beslenme ve yaşam tarzı alışkanlıklarının değerlendirilmesi ile bireyselleştirilmiş danışmanlık hizmetlerinin sunulması önerilmektedir (Dorney et al., 2022). Risk değerlendirmesinin rutin birinci basamak izlemlerinin doğal bir parçası hâline getirilmesi, olası sağlık sorunlarının gebelik oluşmadan önce belirlenmesine ve gerekli müdahalelerin zamanında planlanmasına olanak sağlamaktadır (Hussein et al., 2016).

Prekonsepsiyonel bakımın birinci basamakta etkili biçimde sunulabilmesi yalnızca hizmet içeriğinin tanımlanmasıyla değil, bu hizmetlerin standart klinik uygulamalara entegre edilmesiyle mümkündür. Güncel sistematik derlemeler; sağlık profesyonellerine yönelik eğitim programları, elektronik karar destek sistemleri, klinik hatırlatıcılar ve çok bileşenli uygulama modellerinin prekonsepsiyonel bakım önerilerinin günlük uygulamaya aktarılmasını kolaylaştırdığını göstermektedir (Doherty et al., 2022). Benzer şekilde, birinci basamakta yürütülen uygulamaları inceleyen derlemelerde, yapılandırılmış bakım modellerinin kullanıldığı merkezlerde danışmanlık hizmetlerinin daha düzenli sunulduğu, risk değerlendirmesinin daha sistematik gerçekleştirildiği ve kanıta dayalı önerilere uyumun arttığı bildirilmektedir (Withanage et al., 2022).

Bununla birlikte, prekonsepsiyonel bakımın rutin birinci basamak hizmetlerine entegrasyonu birçok ülkede çeşitli yapısal ve mesleki engeller nedeniyle istenilen düzeye ulaşamamıştır. Yoğun iş yükü, sınırlı görüşme süreleri, standart bakım algoritmalarının yetersiz kullanımı, disiplinler arası koordinasyon eksikliği ve prekonsepsiyonel bakımın rutin hizmet öncelikleri arasında yeterince yer almaması uygulamada karşılaşılan temel güçlükler arasında gösterilmektedir (Caut et al., 2025). Ayrıca sağlık profesyonellerinin güncel kanıta dayalı önerilere erişimlerinin sınırlı olması, prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi düzeylerinin değişkenlik göstermesi ve hizmet içi eğitim gereksinimlerinin devam etmesi de bakımın niteliğini etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır (Zelege et al., 2025; Scheele et al., 2023).

Birinci basamak hizmetlerinin etkinliğini artırmaya yönelik güncel yaklaşımlar, yalnızca sağlık kuruluşlarında sunulan danışmanlık hizmetleriyle sınırlı kalmamakta; dijital sağlık teknolojileri, mobil sağlık uygulamaları ve uzaktan danışmanlık sistemlerinin de bakım süreçlerine entegrasyonunu önermektedir. Mobil sağlık uygulamalarının değerlendirildiği sistematik derleme ve meta-analiz, bu teknolojilerin sağlıklı beslenme, fiziksel aktivite, kilo yönetimi ve davranış değişikliğinin desteklenmesinde olumlu sonuçlar ortaya koyduğunu; bireylerin bakım sürecine aktif katılımını kolaylaştırdığını bildirmektedir (Musgrave et al., 2023). Bu yenilikçi uygulamalar, özellikle genç nüfusun yoğun olarak yararlandığı birinci basamak hizmetlerinde prekonsepsiyonel bakımın erişilebilirliğini ve sürekliliğini artırabilecek önemli araçlar olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de aile sağlığı merkezleri ile bu merkezlerde görev yapan aile hekimleri, ebeler ve hemşireler, üreme çağındaki kadınlarla düzenli temas kurulabilen en önemli sağlık profesyonellerini oluşturmaktadır. Bu nedenle prekonsepsiyonel bakımın aile sağlığı hizmetleri içerisine sistematik biçimde entegre edilmesi; risk değerlendirmesinin standart izlemlere dâhil edilmesi, kanıta dayalı rehberlerin yaygınlaştırılması ve sağlık profesyonellerinin güncel bilgi ve becerilerinin desteklenmesi açısından önemli bir fırsat sunmaktadır. Bu sürecin başarısı ise yalnızca hizmet sunum modellerine değil, prekonsepsiyonel bakımın uygulanmasında görev alan sağlık profesyonellerinin bilgi düzeyi, tutumları ve klinik uygulama yeterliliklerine de bağlıdır (Caut et al., 2025; Zeleke et al., 2025).

4. SAĞLIK PROFESYONELLERİNİN ROLÜ VE UYGULAMADAKİ GÜÇLÜKLER

Prekonsepsiyonel bakımın etkinliği, yalnızca kanıta dayalı rehberlerin varlığına değil, bu rehberlerin klinik uygulamaya aktarılmasını sağlayan sağlık profesyonellerinin bilgi, beceri ve tutumlarına da bağlıdır (Caut et al., 2025; Zeleke et al., 2025). Üreme çağındaki bireylerle gebelik öncesi dönemde düzenli temas kurabilen aile hekimleri, ebeler, hemşireler, kadın hastalıkları ve doğum uzmanları ile diğer ilgili sağlık profesyonelleri; risklerin erken belirlenmesi, danışmanlık hizmetlerinin sunulması ve uygun yönlendirmelerin yapılmasında birbirini tamamlayan roller üstlenmektedir (Dorney et al., 2022). Bu nedenle prekonsepsiyonel bakımın başarıyla uygulanabilmesi, disiplinler arası iş birliğini temel alan, etkili iletişimi destekleyen ve bakım sürekliliğini önceleyen bütüncül bir hizmet modelini gerektirmektedir (Withanage et al., 2022).

Sağlık profesyonellerinin prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi ve farkındalık düzeyi, sunulan hizmetlerin niteliğini doğrudan etkilemektedir. Güncel sistematik derlemeler, sağlık profesyonellerinin prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi düzeyinin birçok ülkede istenilen seviyeye ulaşmadığını; lisansüstü eğitim, hizmet içi eğitim programlarına katılım, klinik rehberlere erişim ve güncel bilimsel kanıtların kullanımı gibi faktörlerin bilgi düzeyini ve kanıta dayalı uygulama becerilerini anlamlı biçimde geliştirdiğini göstermektedir (Zeleke et al., 2025). Benzer şekilde, sağlık profesyonellerinin bilgi eksikliklerinin risk değerlendirmesi, danışmanlık ve uygun yönlendirme süreçlerinde uygulama farklılıklarına neden olabildiği bildirilmektedir (Scheele et al., 2023).

Bilginin yanı sıra sağlık profesyonellerinin inançları, mesleki tutumları ve bakım öncelikleri de prekonsepsiyonel bakımın günlük uygulamaya aktarılmasını etkileyen önemli faktörlerdir.

Sağlık profesyonellerinin prekonsepsiyonel bakıma ilişkin görüşlerini inceleyen sistematik derlemede, katılımcıların büyük bölümünün prekonsepsiyonel bakımın anne ve bebek sağlığı açısından önemini kabul ettiği; ancak zaman yetersizliği, yoğun iş yükü, rol belirsizliği, uygulama rehberlerinin sınırlı kullanımı ve kurumsal destek eksikliği nedeniyle bu hizmetlerin rutin uygulamaya yeterince yansıtılamadığı belirlenmiştir (Caut et al., 2025). Bu bulgular, bilgi düzeyinin tek başına yeterli olmadığını; sağlık sisteminin organizasyonu, kurumsal destek mekanizmaları ve çalışma koşullarının da bakım kalitesini belirleyen temel unsurlar olduğunu göstermektedir.

Ebeler, kadınlarla gebelik öncesinden doğum sonrasına kadar sürdürülebilir ilişki kurabilen sağlık profesyonelleri olmaları nedeniyle prekonsepsiyonel bakımın sunumunda merkezi bir role sahiptir. Güncel araştırmalar, ebelerin prekonsepsiyonel ve interkonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi düzeylerinin genel olarak yüksek olduğunu, koruyucu danışmanlık hizmetlerini mesleki rollerinin doğal bir parçası olarak gördüklerini ve çevrim içi eğitim programlarına yüksek ilgi gösterdiklerini ortaya koymaktadır (Bradfield et al., 2023). Bununla birlikte zaman kısıtlılığı, personel yetersizliği ve standart uygulama protokollerinin eksikliği gibi nedenlerle bu potansiyelin klinik uygulamaya her zaman tam olarak yansıtılamadığı bildirilmektedir (Bradfield et al., 2023).

Kadınların sağlık profesyonelleriyle kurduğu güven ilişkisi, prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanma davranışını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Türkiye’de yürütülen nitel araştırmada kadınlar, ebe sürekliliği modeli kapsamında sunulan prekonsepsiyonel bakımın kendilerini daha güvende hissettirdiğini, bireyselleştirilmiş danışmanlık hizmetlerini değerli bulduklarını ve bakımın sürekliliğinin gebeliğe hazırlık sürecine olumlu katkı sağladığını ifade etmişlerdir (Yurtsal & Hasdemir, 2025). Bu bulgular, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca klinik değerlendirmelerden ibaret olmadığını; etkili iletişim, güven ilişkisi ve bakımın sürekliliğinin de hizmet kalitesinin temel belirleyicileri arasında yer aldığını göstermektedir.

Sağlık profesyonellerinin prekonsepsiyonel bakım konusundaki yeterliliklerinin artırılması için lisans eğitiminden başlayarak sürekli mesleki gelişimi destekleyen eğitim programlarının yaygınlaştırılması, güncel klinik rehberlerin kolay erişilebilir hâle getirilmesi ve disiplinler arası iş birliğini güçlendiren uygulama modellerinin geliştirilmesi önerilmektedir (Zelege et al., 2025; Doherty et al., 2022). Bunun yanında sağlık kurumlarında prekonsepsiyonel bakımın standart hizmet paketleri içerisinde tanımlanması, elektronik kayıt sistemleriyle desteklenmesi ve kanıta dayalı karar destek mekanizmalarının rutin uygulamaya entegre edilmesi, bakımın sürdürülebilirliğini artıracak önemli stratejiler arasında değerlendirilmektedir (Doherty et al., 2022; Withanage et al., 2022).

5. PREKONSEPSİYONEL BAKIM HİZMETLERİNDEN YARARLANMAYI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Prekonsepsiyonel bakımın anne ve bebek sağlığı üzerindeki olumlu etkileri güçlü bilimsel kanıtlarla desteklenmesine rağmen, bu hizmetlerden yararlanma düzeyi birçok ülkede istenilen seviyeye ulaşamamıştır (Tekalign et al., 2021; Abneh et al., 2025). Hizmet kullanımındaki farklılıklar yalnızca sağlık sisteminin yapısıyla açıklanamamakta; bireysel özellikler,

sosyoekonomik koşullar, kültürel yapı, sağlık okuryazarlığı ve sağlık hizmetlerine erişim olanakları gibi çok boyutlu faktörlerden etkilenmektedir (Goshu et al., 2026). Bu nedenle prekonsepsiyonel bakımın yaygınlaştırılmasına yönelik girişimlerde yalnızca hizmet sunumunun geliştirilmesi değil, hizmet kullanımını belirleyen bireysel ve sistem düzeyindeki etmenlerin bütüncül biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Kadınların eğitim düzeyi, prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanmayı etkileyen en güçlü belirleyicilerden biridir. Güncel sistematik derleme ve meta-analizler, eğitim düzeyi yükseldikçe kadınların prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi düzeylerinin arttığını, gebelik öncesinde sağlık hizmeti alma olasılıklarının yükseldiğini ve koruyucu sağlık davranışlarını daha fazla benimsediklerini göstermektedir (Abneh et al., 2025; Goshu et al., 2026). Eğitim düzeyinin artması yalnızca sağlık bilgisinin gelişmesini değil, sağlık hizmetlerine erişimi, karar verme süreçlerine aktif katılımı ve sağlık profesyonelleriyle etkili iletişim kurulmasını da kolaylaştırmaktadır (Kassa & Hadra, 2021).

Gebeliğin planlanmış olması da prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanmayı belirleyen temel faktörlerden biridir. Gebelik planı bulunan kadınların, gebelik öncesinde sağlık kuruluşuna başvurma, risk değerlendirmesi yaptırma ve yaşam tarzı değişikliklerine yönelik önerileri uygulama olasılıklarının daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Tekalign et al., 2021). Benzer şekilde aile planlaması hizmetlerinden yararlanmış olmak, prekonsepsiyonel bakım hakkında sağlık profesyonellerinden bilgi almak ve daha önce sağlık sistemiyle düzenli temas kurmuş olmak da hizmet kullanımını artıran önemli değişkenler arasında yer almaktadır (Abneh et al., 2025; Goshu et al., 2026). Bu bulgular, aile planlaması hizmetleri ile prekonsepsiyonel bakımın birbirini tamamlayan ve karşılıklı olarak güçlendiren süreçler olduğunu ortaya koymaktadır.

Kadınların prekonsepsiyonel bakım konusundaki bilgi, farkındalık ve sağlık okuryazarlığı düzeyleri de hizmet kullanımını doğrudan etkilemektedir. Konuya ilişkin sistematik derlemelerde, birçok ülkede kadınların prekonsepsiyonel bakımın kapsamı, amacı ve olası yararları konusunda yeterli bilgiye sahip olmadıkları; özellikle folik asit kullanımı, kronik hastalık yönetimi ve gebelik öncesi danışmanlığın önemi konusunda belirgin bilgi eksikliklerinin bulunduğu bildirilmektedir (Kassa & Hadra, 2021; Hidayah et al., 2025). Bilgi eksikliği, kadınların prekonsepsiyonel bakım gereksinimini fark etmelerini ve sağlık hizmeti arama davranışını olumsuz etkileyen temel engellerden biri olarak değerlendirilmektedir (Hidayah et al., 2025).

Bireysel faktörlerin yanı sıra sosyal destek mekanizmaları da prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanmada önemli rol oynamaktadır. Özellikle eş desteği, aile bireylerinin tutumu ve sosyal çevrenin sağlıklı davranışları teşvik eden yaklaşımı, kadınların sağlık kuruluşlarına başvurma kararını önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Goshu et al., 2026). Bunun yanında kronik hastalık öyküsü bulunan kadınların, gebelik öncesinde olası risklerin daha fazla farkında olmaları nedeniyle sağlık hizmetlerinden yararlanma eğilimlerinin daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Abneh et al., 2025). Buna karşın kendisini sağlıklı olarak değerlendiren kadınlarda prekonsepsiyonel bakım gereksiniminin yeterince algılanmaması, hizmet kullanımının önündeki önemli engellerden biri olmaya devam etmektedir.

Sağlık hizmetlerine fiziksel ve ekonomik erişim olanakları da prekonsepsiyonel bakım kullanımını belirleyen önemli sistem düzeyi faktörler arasındadır. Birinci basamak sağlık kuruluşlarının ulaşılabilirliği, hizmetlerin maliyeti, randevu sistemleri, sağlık personeli sayısı ve bakımın sürekliliği gibi yapısal özellikler, kadınların prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanmasını doğrudan etkileyebilmektedir (Tekalign et al., 2021; Goshu et al., 2026). Bu nedenle hizmet kullanımındaki eşitsizliklerin azaltılabilmesi için yalnızca bireysel farkındalığın artırılması değil, sağlık sisteminin erişilebilirlik, süreklilik ve hizmet kalitesi açısından güçlendirilmesi de gerekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanma tek bir değişkenle açıklanamayacak kadar karmaşık ve çok boyutlu bir süreçtir (Tekalign et al., 2021; Abneh et al., 2025; Goshu et al., 2026). Eğitim düzeyi, gebelik planlaması, sağlık okuryazarlığı, sosyal destek, kronik hastalık varlığı ve sağlık hizmetlerine erişim olanakları, kadınların prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanmasını birbirini tamamlayan mekanizmalar aracılığıyla etkilemektedir (Kassa & Hadra, 2021; Hidayah et al., 2025). Bu nedenle prekonsepsiyonel bakımın yaygınlaştırılmasına yönelik girişimlerin yalnızca bireysel bilgi düzeyini artırmaya odaklanması yeterli olmayıp, toplum temelli farkındalık çalışmalarını, erişilebilir sağlık hizmeti modellerini ve disiplinler arası iş birliğini destekleyen bütüncül stratejilerle güçlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla prekonsepsiyonel bakımın toplum düzeyinde sürdürülebilir biçimde yaygınlaştırılabilmesi, bireysel davranış değişikliğini destekleyen eğitim girişimleri ile erişilebilir sağlık hizmetlerinin ve sağlık sisteminin kurumsal kapasitesini güçlendiren politikaların eş zamanlı olarak uygulanmasını gerektirmektedir.

6. GÜNCEL KANITLAR IŞIĞINDA PREKONSEPSİYONEL BAKIMIN ANNE VE BEBEK SONUÇLARINA ETKİLERİ

Prekonsepsiyonel bakımın temel amacı, gebelik öncesinde mevcut olan biyomedikal, davranışsal ve çevresel risk faktörlerini erken dönemde belirleyerek bunların gebelik, doğum ve yenidoğan dönemine olası olumsuz etkilerini en aza indirmektir. Güncel sistematik derlemeler ve meta-analizler, bu yaklaşımın yalnızca koruyucu sağlık davranışlarını geliştiren bir danışmanlık hizmeti olmadığını; maternal, fetal ve neonatal sonuçları iyileştiren kanıta dayalı bir müdahale olduğunu göstermektedir (Hussein et al., 2016; Wahabi et al., 2020).

Prekonsepsiyonel bakımın klinik etkinliğine ilişkin en güçlü kanıtlar, kronik hastalığı bulunan kadınlarda yürütülen çalışmalardan elde edilmiştir. Pregestasyonel diyabetli kadınları kapsayan sistematik derleme ve meta-analizde, yapılandırılmış prekonsepsiyonel bakımın konjenital malformasyon riskini %71, perinatal mortaliteyi %54, gestasyon yaşına göre küçük bebek doğumu riskini %48 ve yenidoğan yoğun bakım ünitesine yatış riskini %25 azalttığı gösterilmiştir. Aynı çalışmada gebelik öncesi ve gebeliğin erken dönemindeki glisemik kontrolün anlamlı düzeyde iyileştiği, bunun da maternal komplikasyonların azaltılmasına katkı sağladığı bildirilmiştir (Wahabi et al., 2020). Benzer şekilde, farklı obstetrik popülasyonlarda yürütülen çalışmalar da prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinden yararlanan kadınlarda daha olumlu doğum sonuçları elde edildiğini ve bakımın gebelik öncesinde planlanmasının maternal ve neonatal sonuçlar üzerinde koruyucu etki oluşturduğunu göstermektedir (Jourabchi et al., 2019). Bu bulgular, gebelik öncesinde kronik hastalıkların optimize edilmesinin yalnızca

maternal metabolik kontrolü iyileştirmekle kalmadığını, fetal ve neonatal prognozu da belirgin biçimde etkilediğini ortaya koymaktadır.

Prekonsepsiyonel bakımın yararları yalnızca yüksek riskli gebeliklerle sınırlı değildir. Birinci basamak sağlık hizmetlerinde yürütülen eğitim ve danışmanlık temelli müdahaleleri değerlendiren sistematik derleme, kadınların prekonsepsiyonel bakım sonrasında sağlık bilgisi, öz yeterlilik algısı ve koruyucu sağlık davranışlarında anlamlı gelişmeler gösterdiğini ortaya koymuştur (Hussein et al., 2016). Sağlıklı beslenme alışkanlıklarının benimsenmesi, düzenli fiziksel aktivite, gebelik öncesinde folik asit kullanımına başlanması, uygun vücut ağırlığının korunması ve tütün ile alkol kullanımının azaltılması gibi davranış değişiklikleri, gebelik başlamadan önce gerçekleştirildiğinde hem maternal sağlık durumunun iyileştirilmesine hem de gebelik sürecinin daha sağlıklı ilerlemesine katkı sağlamaktadır (Nkrumah et al., 2020). Ayrıca gebelik öncesi dönemde uygulanan yapılandırılmış bakım ve risk yönetimi yaklaşımlarının preterm doğum ve diğer olumsuz obstetrik sonuçların azaltılmasına katkı sağlayabileceği bildirilmektedir (Mohammadi et al., 2023). Bu durum, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca mevcut riskleri azaltan değil, gelecekteki gebelikleri daha sağlıklı hâle getiren davranışsal ve klinik dönüşümü destekleyen bütüncül bir bakım modeli olduğunu göstermektedir.

Bununla birlikte, güncel kanıtlar prekonsepsiyonel bakımın etkisinin tek bir girişimden değil, birbirini tamamlayan çok bileşenli uygulamalardan kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Sağlık profesyonellerinin eğitimi, kanıta dayalı klinik rehberlerin kullanımı, yapılandırılmış danışmanlık hizmetleri ve dijital sağlık uygulamalarının birlikte yürütüldüğü modellerde hem bakım kalitesinin hem de önerilen uygulamalara uyumun arttığı bildirilmektedir (Doherty et al., 2022; Withanage et al., 2022; Musgrave et al., 2023). Bu nedenle prekonsepsiyonel bakımın klinik başarısı yalnızca sunulan müdahalenin içeriğine değil, bu müdahalenin sürekliliğine, erişilebilirliğine ve bireyin bakım sürecine aktif katılımını destekleyen hizmet modellerine de bağlıdır.

Mevcut literatür birlikte değerlendirildiğinde, prekonsepsiyonel bakımın anne ve bebek sağlığı üzerindeki olumlu etkisinin risk faktörlerinin erken belirlenmesi, koruyucu girişimlerin zamanında uygulanması ve bakımın bireysel gereksinimler doğrultusunda planlanmasıyla yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda prekonsepsiyonel bakımın gebelik öncesi döneme özgü tek seferlik bir müdahale olarak değil, kadın sağlığını yaşam boyu destekleyen koruyucu sağlık hizmetlerinin süreklilik gösteren bir bileşeni olarak ele alınması gerekmektedir. Böyle bir yaklaşım, yalnızca bireysel düzeyde klinik kazanımların artırılmasına değil, anne ve yenidoğan sağlığının toplum düzeyinde iyileştirilmesine de önemli katkılar sağlayacaktır.

7. PREKONSEPSİYONEL BAKIMIN GÜÇLENDİRİLMESİNE YÖNELİK GÜNCEL YAKLAŞIMLAR VE GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Prekonsepsiyonel bakımın anne ve bebek sağlığı üzerindeki olumlu etkileri güçlü bilimsel kanıtlarla desteklenmesine rağmen, bu hizmetlerin rutin sağlık sistemlerine entegrasyonu birçok ülkede istenilen düzeye ulaşamamıştır (Abneh et al., 2025; Caut et al., 2025). Güncel literatür, bu durumun yalnızca bireysel farkındalık eksikliğinden değil, sağlık sisteminin

organizasyonu, hizmet sunum modelleri ve sağlık profesyonellerinin bilgi ve uygulamalarındaki farklılıklardan da kaynaklandığını göstermektedir (Zelege et al., 2025). Bu nedenle son yıllarda yayımlanan sistematik derlemeler ve klinik rehberler, prekonsepsiyonel bakımın daha etkili sunulabilmesi için çok bileşenli, sürdürülebilir ve kanıta dayalı uygulama modellerinin geliştirilmesini önermektedir (Doherty et al., 2022; Dorney et al., 2022).

Bu doğrultuda öncelikli önerilerden biri, prekonsepsiyonel bakımın birinci basamak sağlık hizmetlerinin standart bileşeni hâline getirilmesidir. Gebelik planının rutin sağlık görüşmelerinde sorgulanması, risk değerlendirmesinin standart izlem protokollerine dâhil edilmesi ve bireyselleştirilmiş danışmanlığın düzenli olarak sunulması, prekonsepsiyonel bakımın erişilebilirliğini artırabilecek temel uygulamalar arasında gösterilmektedir (Hussein et al., 2016; Withanage et al., 2022). Bunun yanında elektronik kayıt sistemlerinin geliştirilmesi, klinik karar destek mekanizmalarının kullanılması ve kanıta dayalı uygulama algoritmalarının günlük pratiğe entegre edilmesi de bakımın standardizasyonuna katkı sağlayabilecek önemli yaklaşımlar arasında yer almaktadır (Doherty et al., 2022).

Sağlık profesyonellerinin bilgi ve becerilerinin güçlendirilmesi, prekonsepsiyonel bakımın sürdürülebilirliği açısından temel gerekliliklerden biridir. Güncel sistematik derlemeler, lisans eğitiminde prekonsepsiyonel bakıma daha fazla yer verilmesi, mezuniyet sonrası sürekli mesleki gelişim programlarının desteklenmesi ve güncel klinik rehberlere erişimin kolaylaştırılmasının hizmet kalitesini artırabileceğini göstermektedir (Caut et al., 2025; Zelege et al., 2025). Özellikle ekip temelli çalışma modellerinin geliştirilmesi, disiplinler arası koordinasyonun güçlendirilmesi ve farklı sağlık profesyonelleri arasında etkili iletişimin sağlanması, kadınların gebelik öncesi dönemde kapsamlı, koordineli ve süreklilik gösteren bakım almasını kolaylaştıracaktır (Scheele et al., 2023).

Teknolojik gelişmeler de prekonsepsiyonel bakımın geleceğini şekillendiren önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Mobil sağlık uygulamaları, uzaktan danışmanlık sistemleri ve dijital eğitim platformları; özellikle üreme çağındaki kadınlara ulaşılabilirliği artırma, bireyselleştirilmiş danışmanlık sunma ve davranış değişikliğini destekleme açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Musgrave et al., 2023). Bununla birlikte bu uygulamaların rutin sağlık hizmetleriyle bütünleştirilmesi, veri güvenliğinin sağlanması, kullanıcı kabulünün değerlendirilmesi ve farklı toplumlarda klinik etkinliklerinin ortaya konulması gerekmektedir (Musgrave et al., 2023).

Prekonsepsiyonel bakımın geleceğine yönelik önemli gereksinimlerden biri de araştırma alanındaki bilgi boşluklarının giderilmesidir. Mevcut literatürde sağlık profesyonellerinin bilgi düzeyi, hizmet kullanımını etkileyen faktörler ve belirli müdahalelerin etkinliği konusunda önemli ilerlemeler sağlanmış olmakla birlikte; farklı sağlık sistemlerinde uygulanabilir bakım modelleri, maliyet-etkililik analizleri, dijital sağlık uygulamalarının uzun dönem sonuçları ve toplum temelli müdahalelerin klinik etkilerine ilişkin yüksek kaliteli araştırmalara gereksinim devam etmektedir (Musgrave et al., 2023; Withanage et al., 2022). Özellikle düşük ve orta gelirli ülkelerde yürütülecek çok merkezli çalışmaların, prekonsepsiyonel bakımın yaygınlaştırılmasına yönelik kanıta dayalı politika geliştirme süreçlerine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Bunun yanında farklı sağlık sistemlerinde uygulanabilir standart prekonsepsiyonel bakım modellerinin geliştirilmesi ve bu modellerin klinik sonuçlar, maliyet-

etkililik ve hizmet sürdürülebilirliği açısından karşılaştırılması, gelecekteki araştırmalar için öncelikli çalışma alanları arasında yer almalıdır.

8. SONUÇ

Prekonsepsiyonel bakım, gebelik öncesi dönemde risklerin belirlenmesi ve yönetilmesini sağlayan koruyucu bir sağlık hizmeti olmanın ötesinde, kadın, fetus ve yenidoğan sağlığını yaşam döngüsü yaklaşımı çerçevesinde destekleyen bütüncül bir bakım modelidir. Bu derlemede değerlendirilen güncel kanıtlar, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca bireysel sağlık davranışlarını geliştirmekle sınırlı kalmadığını; kronik hastalıkların gebelik öncesinde optimize edilmesi, koruyucu girişimlerin zamanında uygulanması, gebelik sonuçlarının iyileştirilmesi ve anne ile bebek sağlığının desteklenmesinde önemli katkılar sağladığını göstermektedir. Elde edilen bulgular, prekonsepsiyonel bakımın kanıta dayalı koruyucu sağlık hizmetlerinin temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, prekonsepsiyonel bakımın klinik etkinliği yalnızca sunulan girişimlerin niteliğine değil, bu hizmetlerin sağlık sistemine ne ölçüde entegre edildiğine de bağlıdır. Hizmetlerin birinci basamak sağlık kuruluşlarında sistematik biçimde sunulması, gebelik planlamasının rutin sağlık görüşmelerinin doğal bir parçası hâline getirilmesi, sağlık profesyonellerinin bilgi ve becerilerinin sürekli güncellenmesi ve bireysel gereksinimlere göre yapılandırılmış danışmanlık hizmetlerinin yaygınlaştırılması, prekonsepsiyonel bakımın sürdürülebilirliğini destekleyen temel stratejiler arasında yer almaktadır. Bunun yanında sağlık okuryazarlığının geliştirilmesi, dijital sağlık uygulamalarının kanıta dayalı biçimde bakım süreçlerine entegre edilmesi ve sağlık hizmetlerine erişimdeki eşitsizliklerin azaltılması, toplum düzeyinde daha geniş etki oluşturabilecek önemli yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır.

Bu derleme, prekonsepsiyonel bakımın yalnızca gebelik öncesi döneme yönelik sınırlı bir danışmanlık hizmeti olarak değil, kadın sağlığının sürekliliğini esas alan yaşam boyu koruyucu sağlık yaklaşımının ayrılmaz bir bileşeni olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Gelecekte geliştirilecek sağlık politikalarının ve klinik uygulama modellerinin birey, sağlık profesyoneli ve sağlık sistemi düzeyindeki gereksinimleri bütüncül biçimde ele alması; kanıta dayalı, erişilebilir ve sürdürülebilir prekonsepsiyonel bakım hizmetlerinin yaygınlaştırılmasını destekleyecektir. Böylece yalnızca sağlıklı gebeliklerin artırılması değil, anne, yenidoğan ve gelecek nesillerin sağlık çıktılarının uzun dönemde iyileştirilmesine de önemli katkılar sağlanabilecektir.

KAYNAKÇA

Abneh, A. A., Getahun, W. T., Agmassie, G. A., Gelaw, S. S., & Kassie, T. D. (2025). *The magnitude of preconception care utilization and associated factors among women in Ethiopia: Systematic review and meta-analysis, 2024. BMC Pregnancy and Childbirth, 25, 259.* <https://doi.org/10.1186/s12884-025-07394-6>

Bradfield, Z., Leefhelm, E., Soh, S.-E., Black, K. I., Boyle, J. A., Kuliukas, L., Harrison, C., Homer, C. S. E., Smith, R. M., & Skouteris, H. (2023). *The MidPIC study: Midwives'*

knowledge, perspectives and learning needs regarding preconception and interconception care. PLoS ONE, 18(11), e0289910. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289910>

Caut, C., Schoenaker, D., McIntyre, E., & Steel, A. (2025). *Health professionals' beliefs and attitudes towards preconception care: A systematic review. BMC Health Services Research, 25, 1023. <https://doi.org/10.1186/s12913-025-13246-y>*

Doherty, E., Kingsland, M., Wiggers, J., Wolfenden, L., Hall, A., McCrabb, S., Tremain, D., Hollis, J., Licata, M., Wynne, O., Dilworth, S., Daly, J. B., Tully, B., Dray, J., Bailey, K. A., Elliott, E. J., & Hodder, R. K. (2022). *The effectiveness of implementation strategies in improving preconception and antenatal preventive care: A systematic review. Implementation Science Communications, 3, 121. <https://doi.org/10.1186/s43058-022-00368-1>*

Dorney, E., Boyle, J. A., Walker, R., Hammarberg, K., Musgrave, L., Schoenaker, D., Jack, B., & Black, K. I. (2022). *A systematic review of clinical guidelines for preconception care. Seminars in Reproductive Medicine, 40(3–4), 157–169. <https://doi.org/10.1055/s-0042-1748190>*

Goshu, Y. A., Ayele, A. S., Erega, B. B., Mitiku, A. K., Yitayew, A. E., Belay, D. M., Dagmiaw, S. M., & Derseh, H. A. (2026). *A systematic review and meta-analysis of utilization and associated factors of preconception care among women of reproductive age in Ethiopia. Discover Social Science and Health, 6, 78. <https://doi.org/10.1007/s44155-026-00415-5>*

Hidayah, N., Woro Kasmini, H. O., Yuniastuti, A., Nur Anggraini Ningrum, D., & Hasan, F. (2025). *What influences women's knowledge, attitudes, and practices toward preconception care? A systematic review and meta-analysis. F1000Research, 14, 860. <https://doi.org/10.12688/f1000research.167200.1>*

Hussein, N., Kai, J., & Qureshi, N. (2016). *The effects of preconception interventions on improving reproductive health and pregnancy outcomes in primary care: A systematic review. European Journal of General Practice, 22(1), 42–52. <https://doi.org/10.3109/13814788.2015.1099039>*

Jourabchi, Z., Sharif, S., Lye, M. S., Saeed, A., Khor, G. L., & Syed Tajuddin, S. H. (2019). *Association between preconception care and birth outcomes. American Journal of Health Promotion, 33(3), 363–371. <https://doi.org/10.1177/0890117118779808>*

Kassa, Z. Y., & Hadra, N. (2021). *A systematic review and meta-analysis on women's knowledge of preconception care. Ethiopian Journal of Reproductive Health, 13(2), 1–8.*

Mohammadi, S., Shojaei, K., Maraghi, E., & Motaghi, Z. (2023). *The effectiveness of prenatal care programs on reducing preterm birth in socioeconomically disadvantaged women: A systematic review and meta-analysis. Iranian Journal of Nursing and Midwifery Research, 28(1), 20–31. https://doi.org/10.4103/ijnmr.ijnmr_57_22*

Musgrave, L., Cheney, K., Dorney, E., Homer, C. S. E., & Gordon, A. (2023). *Addressing preconception behavior change through mobile phone apps: Systematic review and meta-analysis. Journal of Medical Internet Research, 25, e41900. <https://doi.org/10.2196/41900>*

- Nkrumah, I., North, M., Kothe, E., Chai, T. L., Pirotta, S., Lim, S., & Hill, B. (2020). *The relationship between pregnancy intentions and diet or physical activity behaviors in the preconception and antenatal periods: A systematic review and meta-analysis*. *Journal of Midwifery & Women's Health*, 65(5), 660–680. <https://doi.org/10.1111/jmwh.13112>
- Scheele, J., Smith, S. M., Wahab, R. J., Bais, B., Steegers-Theunissen, R. P. M., Gaillard, R., & Harmsen van der Vliet-Torij, H. W. (2023). *Current preconception care practice in the Netherlands—An evaluation study among birth care professionals*. *Midwifery*, 127, 103855. <https://doi.org/10.1016/j.midw.2023.103855>
- Tekalign, T., Lemma, T., Silesh, M., Lake, E. A., Teshome, M., Yitna, T., Awoke, N., & Misitoke, Y. (2021). *Mothers' utilization and associated factors of preconception care in Africa: A systematic review and meta-analysis*. *PLoS ONE*, 16(7), e0254935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0254935>
- Wahabi, H. A., Fayed, A., Esmail, S., Elmorshedy, H., Titi, M. A., Amer, Y. S., Alzeidan, R. A., Alodhayani, A. A., Saeed, E., Bahkali, K. H., Kahili-Heede, M. K., Jamal, A., & Sabr, Y. (2020). *Systematic review and meta-analysis of the effectiveness of pre-pregnancy care for women with diabetes for improving maternal and perinatal outcomes*. *PLoS ONE*, 15(8), e0237571. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237571>
- Withanage, N. N., Botfield, J. R., Srinivasan, S., Black, K. I., & Mazza, D. (2022). *Effectiveness of preconception interventions in primary care: A systematic review*. *British Journal of General Practice*. Advance online publication. <https://doi.org/10.3399/BJGP.2022.0040>
- Yurtsal, Z. B., & Hasdemir, Ö. (2025). *Women's knowledge and opinions on midwife-led continuity preconception care and counseling*. *Journal of Health Sciences Institute*, 10(1), 33–39. <https://doi.org/10.51754/cusbed.1589282>
- Zeleeke, A. M., Tassew, W. C., Assefa, G. W., & Ferede, Y. A. (2025). *Healthcare providers' preconception care practice and associated factors in Ethiopia: A systematic review and meta-analysis*. *Frontiers in Health Services*, 5, 1226206. <https://doi.org/10.3389/frhs.2025.1226206>

İÇEÇEK ENDÜSTRİSİNDE PARTİKÜL STABİLİTESİ: SEDİMENTASYON PROBLEMLERİ VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

PARTICLE STABILITY IN THE BEVERAGE INDUSTRY: SEDIMENTATION PROBLEMS AND SOLUTION APPROACHES

ŞEYMA ARIKAYA

Dimes A.Ş., İzmir-Türkiye

E-mail: seyma.arikaya@dimes.com.tr - ORCID: 0000-0001-9277-940X

(+90) 5387252666

ÖZET

İçecek endüstrisinde ürün kalitesini ve tüketici kabulünü etkileyen en önemli fiziksel özelliklerden biri partikül stabilitesidir. Meyve bazlı içecekler, sütlü kahveler ve protein bazlı içeceklerde depolama süresince sedimentasyon, topaklanma, flokülasyon ve faz ayrılması gibi fiziksel değişimler görülebilmektedir. Bu değişimler ürün güvenliğini doğrudan etkilemese de görsel kaliteyi bozarak tüketici algısını ve ürün tercih edilebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Partikül stabilitesi; partikül boyutu, yoğunluk farkı, viskozite, homojenizasyon koşulları, pH, ısıtma işlem ve depolama şartları gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Özellikle meyve bazlı içeceklerde doğal pulp yapısı ve pektin dengesi, süt bazlı içeceklerde ise protein etkileşimleri fiziksel stabilitenin korunmasında belirleyici rol oynamaktadır. Bu kapsamda pektin, ksantan gum ve mikrokristalin selüloz gibi stabilizasyon amacıyla kullanılan bileşenlerin çalışma prensipleri ile formülasyon ve proses parametrelerinin sedimentasyon üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

Sedimentasyonun yalnızca depolama sırasında ortaya çıkan fiziksel bir değişim olarak değil, ürün geliştirme sürecinde doğru formülasyon, proses optimizasyonu ve stabilite çalışmaları ile yönetilmesi gereken bir kalite kriteri olarak ele alınması gerekmektedir. Fiziksel stabilitenin bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesi, ürün kalitesinin korunmasına ve tüketici memnuniyetinin artırılmasına önemli katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: İçecek endüstrisi, partikül stabilitesi, sedimentasyon.

ABSTRACT

Particle stability is one of the most important physical attributes affecting product quality and consumer acceptance in the beverage industry. Physical changes such as sedimentation,

aggregation, flocculation, and phase separation may occur during the storage of fruit-based beverages, milk-based coffee beverages, and protein-enriched drinks. Although these changes do not necessarily compromise product safety, they negatively affect the visual quality of the product, leading to reduced consumer acceptance and preference.

Particle stability is influenced by several factors, including particle size, density differences, viscosity, homogenization conditions, pH, heat treatment, and storage conditions. In fruit-based beverages, the natural pulp content and pectin balance play a key role in maintaining physical stability, whereas protein interactions are among the main factors affecting the stability of milk-based beverages. In this context, the mechanisms of commonly used stabilizing agents such as pectin, xanthan gum, and microcrystalline cellulose, together with the effects of formulation and process parameters on sedimentation, are discussed.

Sedimentation should not be considered merely as a physical change occurring during storage, but rather as a quality attribute that can be effectively managed through appropriate formulation, process optimization, and stability studies during product development. A scientific understanding of particle stability contributes to maintaining product quality and improving consumer satisfaction.

Keywords: Beverage industry, particle stability, sedimentation.

GÖĞÜS KANSERİ VERİ SETİ ÜZERİNDE GELENEKSEL VE GELİŞMİŞ MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRMA PERFORMANSLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Öğr. Gör. İlyas Güvenç PİRGE

Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü
guvencpirge@gmail.com - 0009-0008-3978-1883

ÖZET

Göğüs kanseri, dünya genelinde kadınlar arasında en yaygın görülen ve erken teşhisi hayati önem taşıyan kanser türlerinden biridir. Bu çalışmada, Wisconsin Göğüs Kanseri Veri Seti (WDBC) kullanılarak kitlelerin iyi huylu veya kötü huylu olarak sınıflandırılması amacıyla sekiz farklı makine öğrenmesi algoritmasının performansları karşılaştırılmıştır. Analiz kapsamında Lojistik Regresyon (LR), K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM), Karar Ağaçları (DT), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RF), XGBoost ve LightGBM algoritmaları ele alınmıştır. Modellerin genelleme yeteneğini artırmak ve veri sızıntısını önlemek amacıyla eğitim sürecinde beş katlı çapraz doğrulama (Stratified K-Fold Cross Validation) yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre SVM ve RF modelleri, %97,4'lük doğruluk, %96,3'lük F1 ve %92,9'lük duyarlılık skorları elde ederek genel başarımda öne çıkmıştır. ROC analizi neticesinde hesaplanan eğri altında kalan (AUC) değerlerinde ise SVM, daha yüksek skoru elde ederek sınıflandırma yeteneği en güçlü algoritma olarak belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modellerde eğitim ve test skorlarının birbirine yakın seyretmesi, modelin aşırı öğrenme eğiliminde olmadığını ve klinik alanda karar destek sistemlerinde güvenle kullanılabilecek kararlılıkta olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Göğüs Kanseri Teşhisi, Makine Öğrenmesi, Sınıflandırma Performansı, ROC-AUC Analizi, Çapraz Doğrulama, Destek Vektör Makineleri, XGBoost.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CLASSIFICATION PERFORMANCE OF TRADITIONAL AND ADVANCED MACHINE LEARNING METHODS ON A BREAST CANCER DATASET

ABSTRACT

Breast cancer is one of the most common types of cancer among women worldwide and early diagnosis is of vital importance. In this study, the performance of eight different machine learning algorithms was compared using the Wisconsin Breast Cancer Dataset (WDBC) to classify tumors as benign or malignant. The analysis included Logistic Regression (LR), K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machines (SVM), Decision Tree (DT), Naive Bayes (NB), Random Forest (RF), XGBoost and LightGBM algorithms. To enhance the models' generalization ability and prevent data leakage, the Stratified K-Fold Cross Validation method was applied during the training process. According to the findings the SVM and RF models stood out in overall performance, achieving an accuracy of 97.4%, an F1 score of 96.3 and a recall of 92.9%. In terms of the area under the curve (AUC) values calculated as a result of the ROC analysis, SVM achieved a higher score and was identified as the algorithm with the strongest classification capability. Furthermore, the fact that training and test scores were closely aligned across all models indicates that the models do not exhibit a tendency toward overfitting and are sufficiently stable to be used with confidence in decision support systems in clinical settings.

Keywords: Breast Cancer Diagnosis, Machine Learning, Classification Performance, ROC-AUC Analysis, Cross Validation, Support Vector Machines, XGBoost.

1. GİRİŞ

Meme kanseri, dünya çapında kansere bağlı ölüm oranları nedeniyle halk sağlığı alanında önemli bir sorun olmaya devam etmektedir [1]. Kadınlar arasında en sık görülen kanser türlerinden biridir ve kanser kaynaklı ölümlerin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre, 2022 yılında dünya çapında tahmini 2,3 milyon kadına meme kanseri teşhisi konulmuş ve 670.000 ölüm vakası kaydedilmiş ve aynı yıl 185 ülkenin 157'sinde kadınlarda en sık görülen kanser türü olarak karşımıza çıkmıştır [2]. Yapılan araştırmalara göre 2026 yılında ABD'de 42.140 kadının meme kanserinden hayatını kaybedeceği ön görülmektedir. [3]. Bu derece yaygın ve ölümcül olan bir hastalığın seyrini değiştirmek ve ilerlemesini durdurmak için en kritik aşama erken teşhistir. Bu hastalığın geç teşhisi ve kompleks prosedürler, düşük hayatta kalma oranlarının başlıca nedenleridir. Bu nedenle, meme kanserinin erken teşhisi, diğer doku hücrelerinde kanser ilerleme riskini azaltmak ve uygun bir tedavi uygulamak için hayati bir önem taşımaktadır [4]. Hastalığı teşhis etmek için meme biyopsisi, ultrason, mamografi ve termografi dahil olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Mamografi, göğüs kanseri taraması ve tespiti için günümüzde kullanılan en etkili yöntemlerden biridir [5]. Bu yöntemler her ne kadar kullanılsa da bazı sınırlamalar bulunmaktadır. Örneğin, kötü huylu tümörün teşhisinde kullanılan mamografi görüntülerinin kullanımında yaklaşık %15 oranında fire (yanlış sonuç), daha kesin sonuç için kullanılan biyopsi işlemlerinde ise %1-2 arası fire meydana gelmektedir [6]. Biyopsi işlemi etkili olmasına karşın hem maliyetli hem de işlem sonrası hastalarda kanama, morarma ve enfeksiyon olabileceği bilinmektedir [7]. Bu örneklerle görülebileceği gibi geleneksel yöntemler zaman, maliyet açısından dezavantajlar oluşturmakta ve değerlendirme aşamasında uzman insan bilgisine ihtiyaç duyulduğu için insana bağlı olarak yorgunluk ve dikkat dağınıklığı gibi potansiyel hatalara açık olabilmektedir. Geleneksel tekniklerin sınırlamalarından kaçınmak, teşhis işlemlerini otomatize etmek ve doktorlara ikinci bir görüş sunarak karar alma süreçlerinde yardımcı olmak amacıyla yapay zekâ alanında makine öğrenmesi teknikleri günümüzde güçlü bir araç olarak tıp alanında yoğun ilgi görmektedir. Makine öğrenme algoritmalarının göğüs kanseri teşhisindeki rolü giderek artmakta ve performans geliştirme çalışmaları hızla ilerlemektedir [8].

Bazazeh ve Shubair, göğüs kanserinin erken teşhisi ile ilgili yaptığı çalışmada Rastgele Orman, Destek Vektör Makineleri ve Bayes Ağı yöntemlerini Wisconsin göğüs kanseri veri setine uygulamışlardır. Duyarlılık ve hassasiyet değerleri referans alındığında Bayes Ağı en başarılı performansı göstermiştir. ROC eğrisi referans alındığında ise Rastgele Orman algoritması en iyi sonucu vermiştir [9]. Turgut, tez çalışmasında Python programında çeşitli makine öğrenmesi yöntemlerini kanser veri setlerine uygulamıştır. Bu çalışmada SVM, Yapay Sinir Ağları, KNN, Karar Ağaçları, Rastgele Orman, Lojistik Regresyon, AdaBoost ve Gradyan Boosting algoritmalarını kullanmıştır. En yüksek doğruluk SVM algoritmasında, en düşük doğruluk ise Karar Ağaçları algoritmasında elde edilmiştir [10]. Reddy vd., yaptıkları çalışmada kanser teşhisi için Derin Sinir Ağı (DNN) yöntemini kullanmıştır. Çalışma sonucunda DNN'nin mevcut yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği ortaya konmuştur [11]. Rawal, çalışmada SVM, Lojistik Regresyon, Random Forest ve KNN algoritmalarını Wisconsin göğüs kanseri veri setine uygulamıştır. Çalışma sonucunda SVM yönteminin %97,13 doğruluk

oranı ile diğer algoritmalarından daha başarılı olduğunu belirtmiştir [12]. Uddin vd., yaptıkları çalışmada Wisconsin veri setinden yararlanarak SVM, Rastgele Orman (RF), KNN, Karar Ağacı (DT), Naive Bayes (NB), Lojistik Regresyon (LR), AdaBoost, Gradyan Güçlendirme (GB), Çok Katmanlı Perceptron (MLP), En Yakın Küme Sınıflandırıcısı (NCC) ve Oylama Sınıflandırıcısı (VC) gibi çeşitli makine öğrenme yöntemlerini kullanmıştır. Çalışma sonucu oylama sınıflandırıcısının %98,77 ile en yüksek doğruluğa ve en düşük hata oranına sahip olduğunu göstermiştir [13]. Laghmati vd., yaptıkları çalışmada temel bileşen analizi (PCA) ile meme kanseri tahminini hedeflemişlerdir. Çalışmalarında KNN algoritmasının %93,8 doğruluk oranını elde ettiğini belirtmişlerdir [14]. Kaddes vd., Evrişimli Sinir Ağı (CNN) ile Uzun Kısa Vadeli Bellek (LSTM) modellerini birleştiren yeni bir hibrit derin öğrenme modeli kullanarak meme kanseri üzerinde ikili sınıflandırma çalışması yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda önerilen bu hibrit CNN-LSTM modeli VGG-16, RESNET-50 gibi diğer derin öğrenme modelleri ile karşılaştırıldığında %99,17 ve %99,90 doğruluk oranlarıyla üstün bir performans göstermiştir [15].

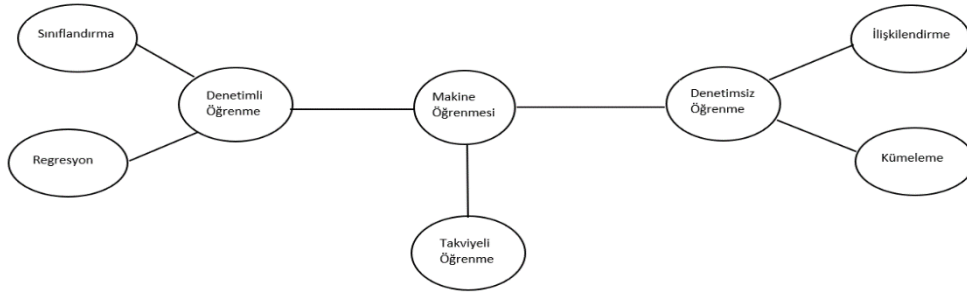
Bu çalışmada makine öğrenmesi yöntemlerinden Lojistik Regresyon (LR), K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM), Karar Ağaçları (DT), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RF), XGBoost ve LightGBM algoritmaları, Kaggle platformunda yer alan Wisconsin göğüs kanseri veri setine uygulanmıştır. Çalışma sonucunda algoritmaların tahmin skorları, elde edilen bulgular ışığında bazı performans metrikleri referans alınarak karşılaştırılmıştır. Sonraki bölümlerde, kullanılan veri seti ile algoritmaların karşılaştırmalı skorlarını içeren bilgiler yer almaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi (ML), bilgisayarların verilerden örüntüleri tanıyarak tecrübe yoluyla performanslarını artırmalarını sağlayan yapay zekanın bir alt dalıdır [16]. Makine öğrenmesi, akıllı tahmin algoritmaları geliştirerek insan müdahalesi sonucu oluşacak hataları en aza indirmeyi ve farklı disiplinlerde yaşanan problemlerin detaylı bir şekilde analiz edilmesini hedefler. ML yaklaşımları, yüksek boyutlu (big data) verileri işleme ve kompleks veriler arasındaki korelasyonu ortaya çıkarma yeteneğine sahiptir [17].

Makine öğrenmesi, öğrenme süreci ve verilerin etiketlenme biçimine göre genel olarak üç başlık altında incelenmektedir. Bu başlıklar; denetimli, denetimsiz ve takviyeli öğrenme olarak karşımıza çıkmaktadır.



Görsel 1. Makine Öğrenmesi Yöntemleri [18]

2.1.2. Denetimli Makine Öğrenmesi

Bu çalışmada denetimli makine öğrenmesi algoritmaları kullanılacağı için bu kapsamdaki yöntemler üzerinde durulacaktır. Denetimli öğrenme, önceden hazırlanmış ve etiketlenmiş veriler üzerinde modelin eğitilmesini temel almaktadır [19]. Model, bu öğrenme yöntemiyle öznitelikler ile hedef değişkenler arasındaki ilişkiyi öğrenir ve böylece yeni ve daha önce görülmemiş veriler üzerinde tahmin yapabilme yeteneği kazanır. Bu tip öğrenme yönteminde gerçeğe yakın tahmin yapılabilmesi için sınıflandırma ve regresyon teknikleri kullanılmaktadır.

2.2. Araç ve Yöntemler

Bu çalışmada göğüs kanserindeki tümörün teşhisi için Python dili aracılığıyla Jupyter program ara yüzünde çeşitli makine öğrenme algoritmaları kullanılmıştır. Analiz çalışmasının ilk aşamasında veriler ön işleme sürecinden geçirilmiş ve sınıflandırma algoritmalarında kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Kullanılan veri seti 569 adet örneği kapsamaktadır. Her bir örnek için 30 özellik ve bir adet teşhis sınıfı (binary) bulunmaktadır. Veri setindeki bazı özniteliklere ait istatistiksel bilgiler Görsel 2’de yer almaktadır.

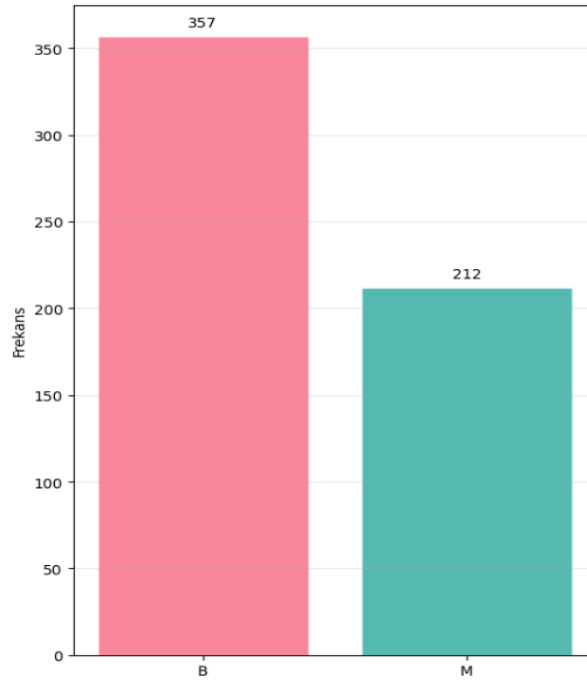
	radius_mean	texture_mean	perimeter_mean	area_mean	smoothness_mean	compactness_mean	concavity_mean	concave points_mean	symmetry_mean	fractal_dimension_mean
count	569.00	569.00	569.00	569.00	569.00	569.00	569.00	569.00	569.00	569.00
mean	14.13	19.29	91.97	654.89	0.10	0.10	0.09	0.05	0.18	0.06
std	3.52	4.30	24.30	351.91	0.01	0.05	0.08	0.04	0.03	0.01
min	6.98	9.71	43.79	143.50	0.05	0.02	0.00	0.00	0.11	0.05
25%	11.70	16.17	75.17	420.30	0.09	0.06	0.03	0.02	0.16	0.06
50%	13.37	18.84	86.24	551.10	0.10	0.09	0.06	0.03	0.18	0.06
75%	15.78	21.80	104.10	782.70	0.11	0.13	0.13	0.07	0.20	0.07
max	28.11	39.28	188.50	2501.00	0.16	0.35	0.43	0.20	0.30	0.10

Görsel 2. Özniteliklere Ait İstatistiksel Veriler

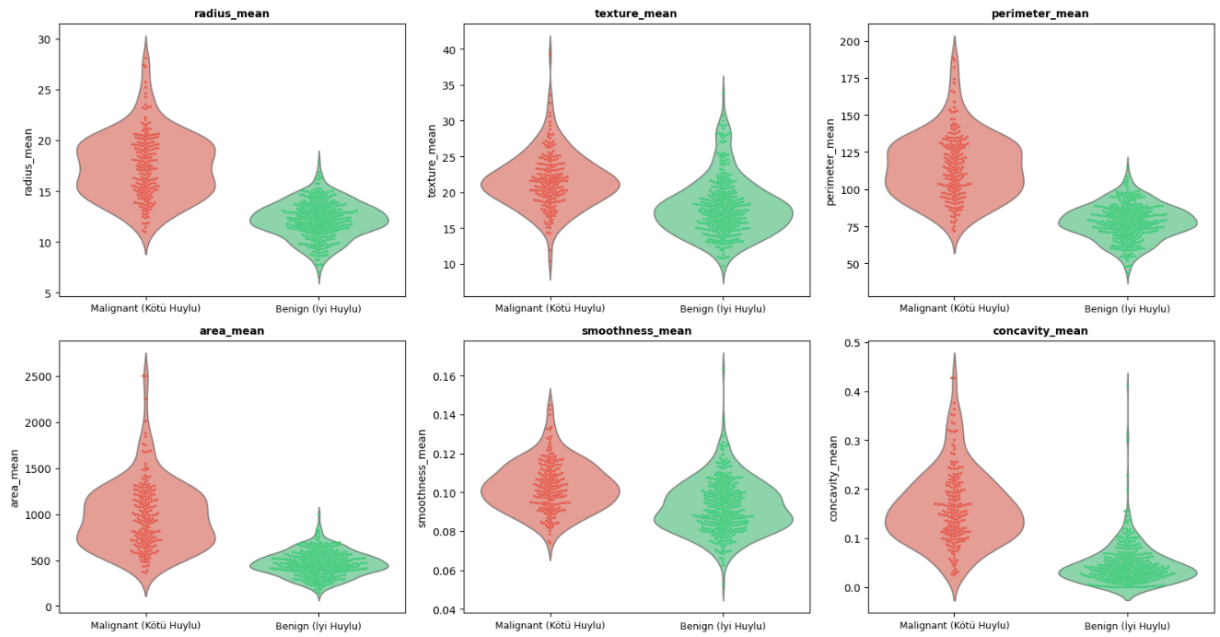
Görseldeki öznitelikleri incelediğimizde; hücrenin büyüklüğü (radius), hücrenin uzunluğu (perimeter), hücrenin iki boyutta kapladığı alanı (area), doku pürüzlülüğü (texture), pürüzsüzlük (smoothness), kompakt boyut (compactness), hücredeki girinti ve çıkıntılar

(concavity), simetri (symmetry), karmaşıklık ve düzensizlik (fractal dimension) olarak adlandırılmıştır. Diğer öznelikler ise bu özelliklerden yaratılan ortalama, standart hata, en büyük ve en kötü değerlerden oluşmaktadır.

Veri setindeki teşhis sınıfına ait ikili kategorinin dağılımı Görsel 3’te yer almaktadır. B sınıfı iyi huylu tümörleri, M sınıfı kötü huylu tümörleri temsil etmektedir. Veri setinin %62,7’si iyi huylu, %37,3’ü ise kötü huylu tümörlerden oluşmaktadır.



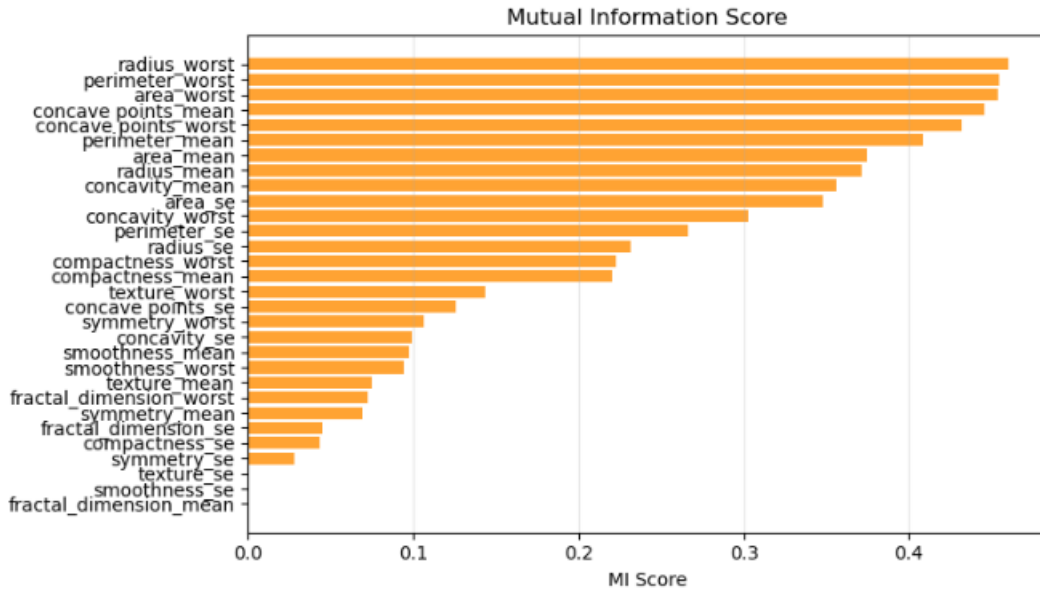
Görsel 3. İyi ve Kötü Huylu Hücrelerin Dağılımı



Görsel 4. Bazı Özneliklerin İkili Sınıflara Göre Dağılımı

Görsel 4’te veri setindeki altı adet özneliğin sınıflarına göre dağılımını gösteren keman (violin) grafiği yer almaktadır. Özellikle alan (area) dağılımına bakıldığında kötü huylu tümörlerin üst kuyruk kısmının (2000-2500 seviyeleri) çok uzadığı görülmektedir. Bu durum, kötü huylu tümörlerin bazılarının ekstrem boyutlara ulaştığını göstermektedir. İçbükeylik (concavity) dağılımına baktığımızda, kötü huylu tümörlerde içbükeylik oranının belirgin şekilde daha yüksek ve geniş bir spektruma yayıldığı görülmektedir. İyi huylu tümörlerde bu durum tam tersidir ve neredeyse sıfıra yakın (0-0,05 arası) çok dar bir alanda sıkışmış vaziyettedir. Bu iki özellik, sınıflandırma algoritmaları için güçlü bir ayırt edici özellik olarak karşımıza çıkabilmektedir.

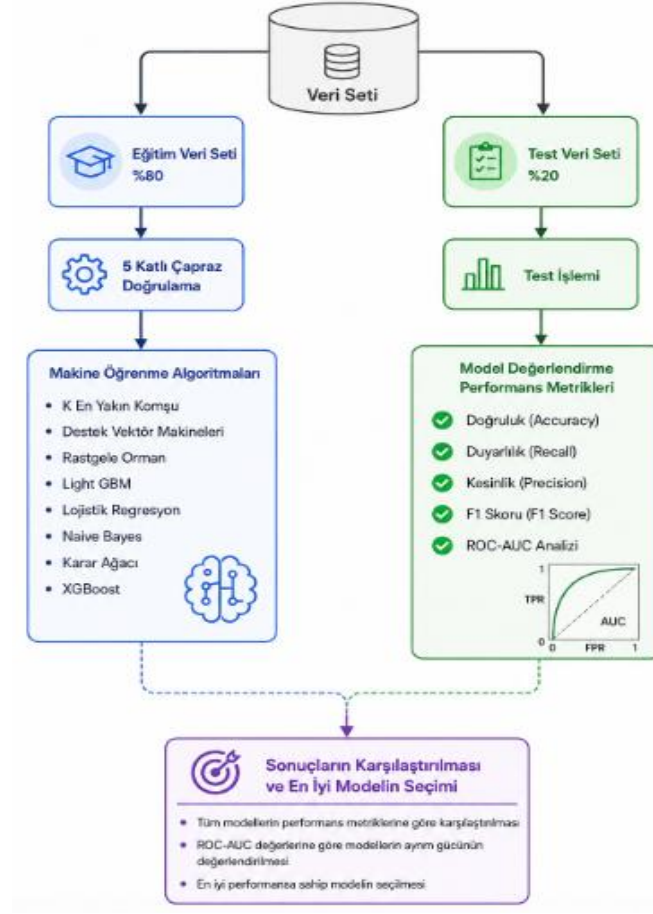
Özniteliklerin önem skorlarını ölçmek için Mutual Information (Karşılıklı Bilgi-MI) metodu uygulanmıştır. MI yöntemi, bilgi teorisini kullanarak her bir özellik ile hedef değişken arasındaki istatistiksel bağımlılığı değerlendirir. Hem doğrusal hem de doğrusal olmayan karmaşık ilişkileri ortaya çıkaran bir yöntemdir.



Görsel 5. Özniteliklerin Önem Skorları

Görsel 5’teki grafik incelendiğinde hücrelerin yarıçapı, uzunluğu, alanı ve konkavlık gibi özelliklerine ait etki derecelerinin yüksek olduğu görülmektedir.

Verilerin görsel dağılımı yapıldıktan sonra makine öğrenme algoritmaları ile analiz aşamasına geçilmiştir. Kullanılan algoritmalar, Jupyter IDE üzerinden Python dilinde programlanmıştır. Veri setinin %80’i eğitim, %20’si test için kullanılmıştır. Modellerin performansını artırmak ve veri sızıntısını önlemek amacıyla eğitim aşamasında beş katlı çapraz doğrulama yöntemi uygulanmıştır. Görsel 6’da çalışmanın akış diyagramı yer almaktadır.



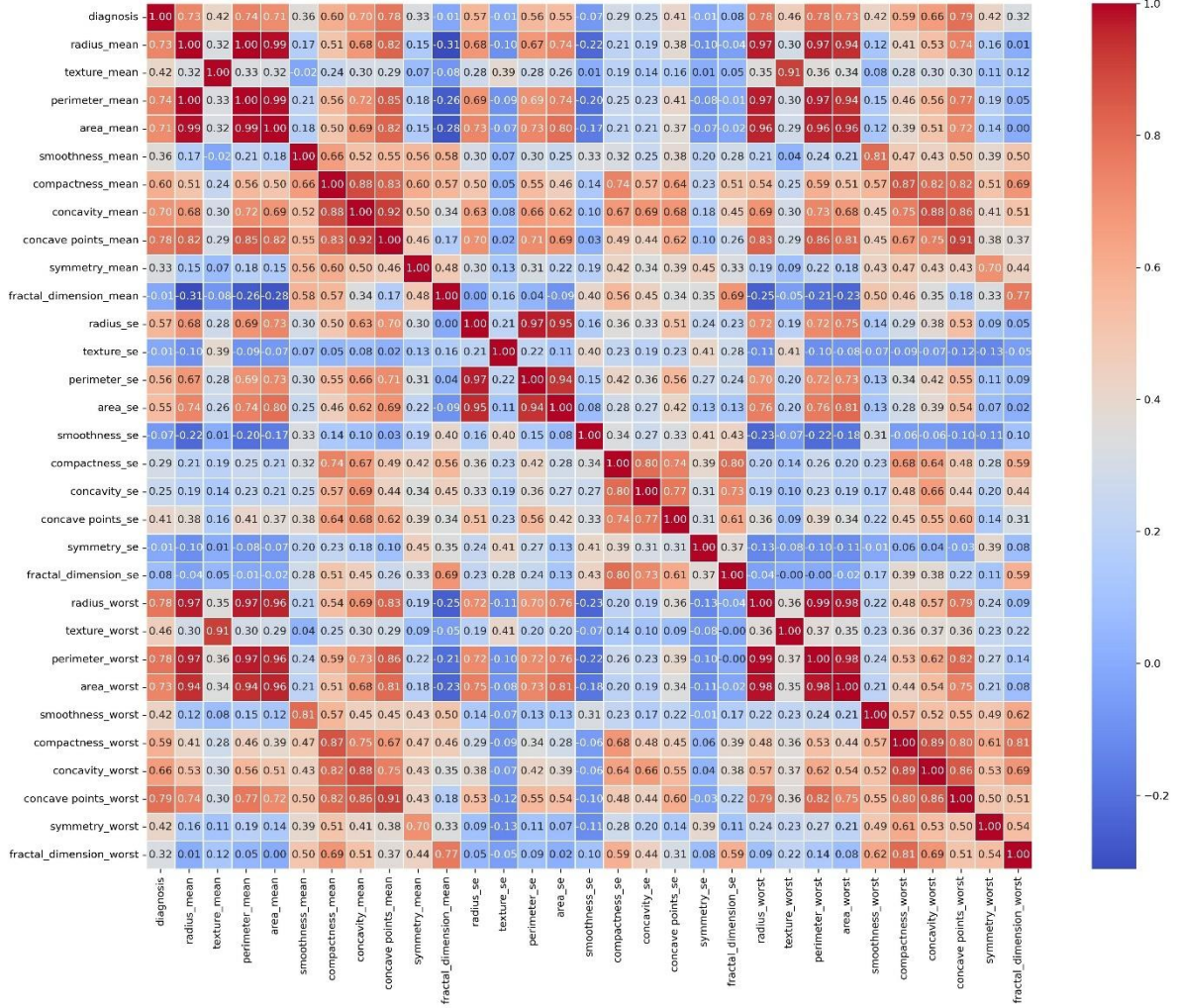
Görsel 6. Çalışmanın Akış Diyagramı

Veri集中的 değişkenlerin birbirleriyle olan ilişkilerini gösteren korelasyon matrisi Görsel 7’de yer almaktadır. Bu görseli incelediğimizde, hedef değişken (diagnosis) ile hücrelerin boyutsal büyüklüğü, yarıçapı ve içbükey noktalarının sayısı ile güçlü bir korelasyon olduğunu göstermektedir. Hedef değişken ile en güçlü korelasyona sahip beş özellik Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. En Güçlü Korelasyona Sahip Beş Öz nitelik

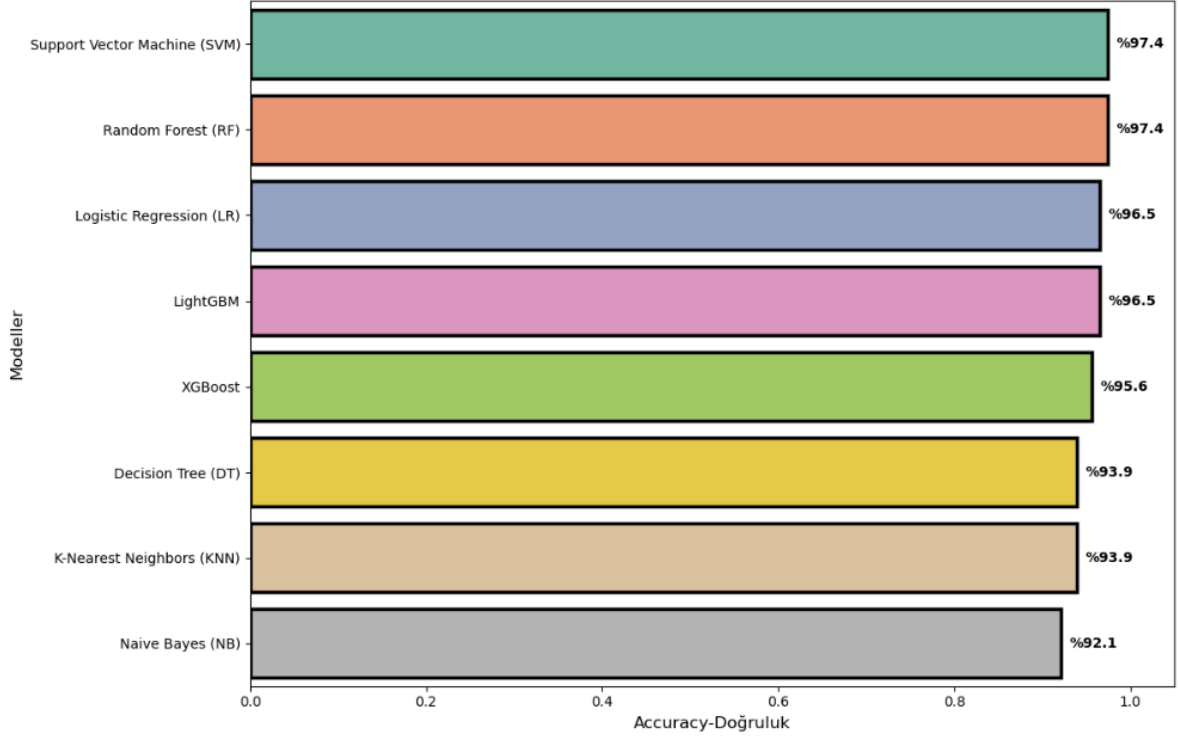
Öznitelik Adı	Korelasyon	Öznitelik Açıklaması
concave points_worst	0,79	Hücre çekirdeğindeki içbükey noktaların en büyük değerlerinin ortalaması
perimeter_worst	0,78	Hücre çekirdeği çevre uzunluğunun en büyük (en kötü) değerlerinin ortalaması.
concave points_mean	0,77	Hücre çekirdeği çevresindeki içbükey noktaların sayısının genel ortalaması.

radius_worst	0,77	Hücre yarıçapının en büyük (en kötü) değerlerinin ortalaması.
perimeter_mean	0,74	Hücre çekirdeği çevre uzunluğunun genel ortalaması.



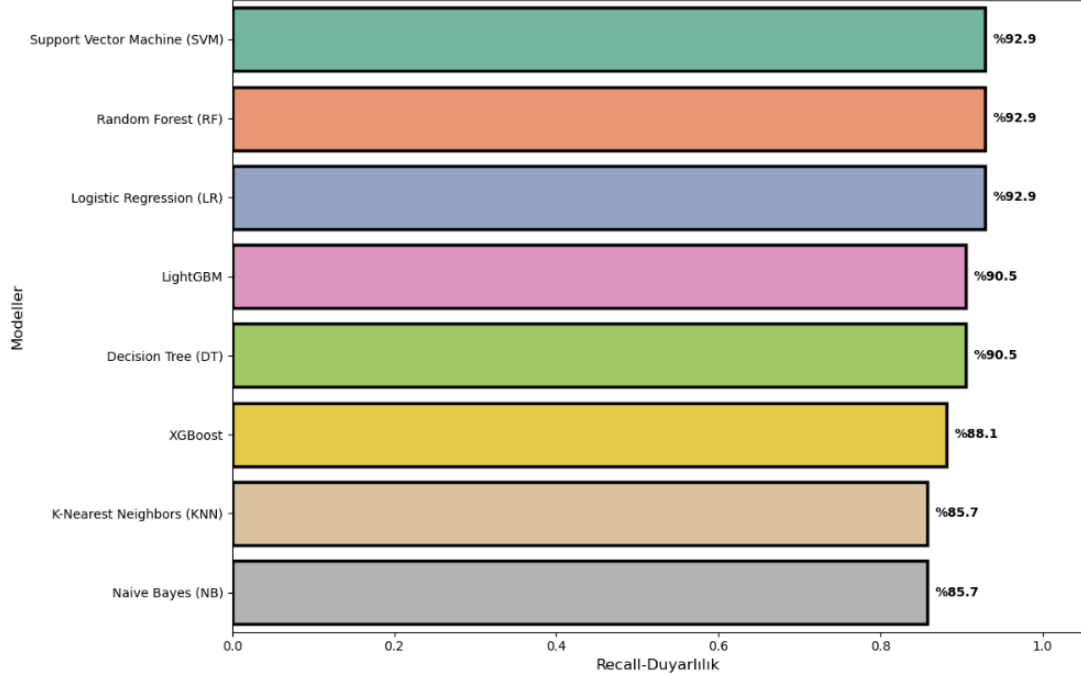
Görsel 7. Karışıklık Matrisi

Veri seti, sekiz farklı makine öğrenme algoritması kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz çalışması sonucunda kullanılan algoritmalar öncelikle doğruluk metriklerine göre değerlendirilmiştir. Görsel 8'deki grafik incelendiğinde SVM ve RF algoritmaları %97,4 doğruluk oranı ile ilk sıralarda olduğu görülmüştür.



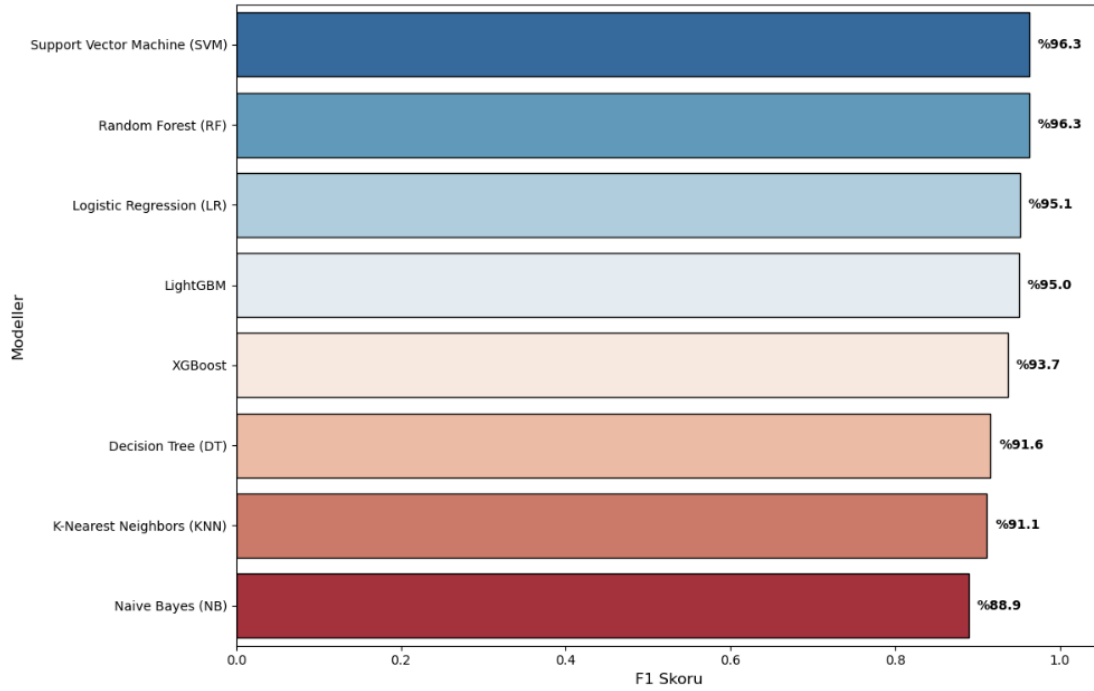
Görsel 8. Modellerin Doğruluk Skorları

Medikal alandaki çalışmalarda en kritik metriklerden biri ise duyarlılıktır. Özellikle kanser teşhisi çalışmalarında kötü huylu tümörleri yakalamak hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle modeller duyarlılık açısından da değerlendirilmiş olup Görsel 9’da duyarlılık skorlarına ait grafik yer almaktadır. Grafikte SVM ve RF algoritmaları, %92,9 duyarlılık oranı ile ilk sırayı paylaşmaktadır.



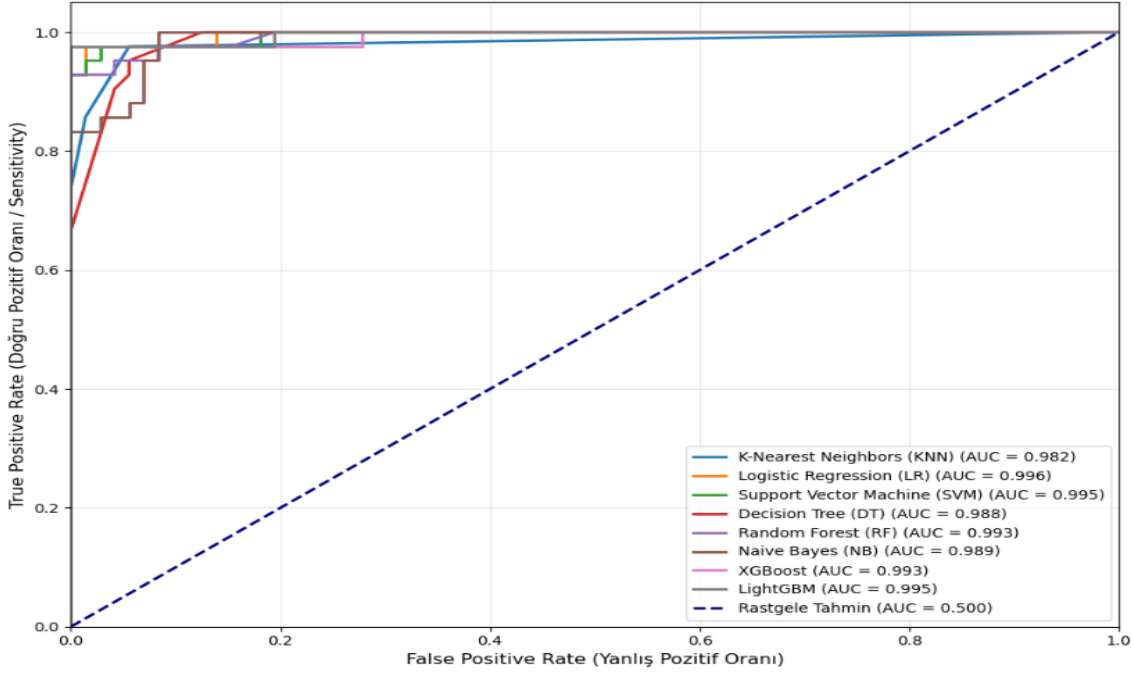
Görsel 9. Modellerin Duyarlılık Skorları

Bir sonraki aşamada modeller, F1-skorlarına göre karşılaştırılmıştır. F1-skoru, kesinlik ve duyarlılık metriklerinin harmonik ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Görsel 10’da kullanılan modellerin F1-skor başarıları yer almaktadır. Bir önceki metriklerde olduğu gibi SVM ve RF algoritmaları %96,3 F1-skoru ile ilk sıradadır.



Görsel 10. Modellerin F1-Skor Başarı Sıralaması

Bu aşamaya kadar SVM ve RF algoritmaları, en başarılı performansı gösteren modeller olarak ortaya çıkmıştır. Son aşamada çalışmada kullanılan tüm modeller, ROC-AUC eğrileri ve alan skorları açısından tekrar karşılaştırılmıştır. Görsel 11’de yer alan eğri ve alan skorları incelendiğinde SVM’nin 0,995 AUC değeri ile RF modeline göre bir adım önde olduğu görülmektedir. Tüm değerlendirmeler sonucunda SVM, en başarılı sınıflandırma performansını gösteren model olmuştur.



Görsel 11. Modellerin ROC-AUC Eğrileri ve Alan Skorlarının Karşılaştırılması

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, kadınlar arasında dünya genelinde en sık görülen kanser türlerinden biri olan ve erken teşhisi hayati önem taşıyan göğüs kanserinin tespiti için gelişmiş veri bilimi ve makine öğrenmesi teknikleri uygulanmıştır. Wisconsin Göğüs Kanseri Veri Seti (WDBC) kullanılarak gerçekleştirilen sınıflandırma modellemesinde; Lojistik Regresyon (LR), K-En Yakın Komşu (KNN), Destek Vektör Makineleri (SVM), Karar Ağacı (DT), Naive Bayes (NB), Rastgele Orman (RF), XGBoost ve LightGBM olmak üzere toplam 8 farklı algoritmanın performansları kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Modelleme öncesinde yapılan keşifsel veri analizi (EDA) aşamasında, hücrenin yarıçapı (radius_mean), hücrenin uzunluğu (perimeter_mean) ve hücrenin kapladığı alan (area_mean) gibi geometrik özelliklerin iyi huylu (benign) ve kötü huylu (malignant) tümör hücrelerini ayırt etmede en yüksek bilgi kazancına ve doğrusal açıklanabilirlik gücüne (Mutual Information) sahip olduğu saptanmıştır. Eğitim sürecinde verinin bu doğal yapısı gözlemlenmiş, modellerin genelleme yeteneğini artırmak ve veri sızıntısını (data leakage) kesin olarak önlemek amacıyla Stratified K-Fold Çapraz Doğrulama (Cross Validation) yöntemi uygulanmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, veri setindeki sınıflara ait sınırlarının netliği ve geometrik ayırt ediciliğin etkisiyle doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkileri en optimize şekilde yakalayan Destek Vektör Makineleri (SVM) çalışmadaki tüm değerlendirme kriterlerini en yüksek düzeyde karşılayan model olmuştur. Ayrıca, çalışmada eğitilen tüm modellerin eğitim ve test skorlarının birbirine son derece yakın çıkması, modellerin aşırı öğrenme (overfitting) eğiliminde olmadığını net bir şekilde ortaya koymuştur.

Sonuç olarak ulaşılan %97,4 doğruluk, %92,9 duyarlılık, %96,3 F1-skoru ve 0,995 AUC değerleri, önerilen SVM tabanlı yaklaşımın yüksek tahmin yeteneğine, kararlı ve dayanıklı bir yapıya sahip olduğunu kanıtlamaktadır. Elde edilen bulgular, modelin tıp alanında uzman hekimler için klinik karar destek sistemlerine entegre edilerek güvenle kullanılabileceğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Kansal, K., Kumar, S., Kansal, K. *Advances in Deep Learning Techniques for Breast Cancer Classification: A Comprehensive Review*, Archives of Computational Methods in Engineering, 33(1), 187-222, 2026.
- [2] “WHO (World Health Organization)”. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer>. (Erişim tarihi 17.05.2026)
- [3] Breastcancer.org: Breast Cancer Facts and Statistics. <https://www.breastcancer.org/facts-statistics> (Erişim tarihi 19.05.2026)
- [4] Bardou, D., Zhang, K., Ahmad, S., M. *Classification of Breast Cancer Based on Histology Images Using Convolutional Neural Networks*, IEEE Access, 24680-24693, 2018.
- [5] Akcan, F., Sertbaş, A. *Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile Göğüs Kanseri Teşhisi*, Turkish Studies, 16(2), 511, 2021.
- [6] Ateş, E., C., Bostancı, E., Güzel, M., S. *Yapay Zeka ve Makine Öğrenmesi Temelinde Meme Kanseri Teşhisi*, Türkiye Klinikleri Forensic Medicine-Special Topics, 7(3), 61-68, 2021.
- [7] Alipour, S., *Local Complications of Breast Surgery during Pregnancy and Lactation*, Diseases of the Breast during Pregnancy and Lactation, 101-105, 2020.
- [8] Tangi, R., Solmaz, R. *Meme Kanseri Tanısında Wisconsin Veri Seti ile Makine Öğrenmesi Uygulamaları*, Bilişim Teknolojileri Dergisi, 18(1), 29-43, 2025.
- [9] Bazazeh, D., Shubair, R. *Comparative Study of Machine Learning Algorithms for Breast Cancer Detection and Diagnosis*, 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications, 1-4, 2016.
- [10] Turgut, S., *Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanarak Kanseri Teşhisi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, 2017.
- [11] Vaka, A., R., Soni, B., Reddy, S., *Breast Cancer Detection by Leveraging Machine Learning*, ICT Express, 6, 320-324, 2020.
- [12] Rawal, R., *Breast Cancer Prediction Using Machine Learning*, Journal of Emerging Technologies and Innovative Research, 13(24), 7, 2020.

- [13] Uddin, K., M., M., Biswas, N., Rikta, S., T., Dey, S., K. *Machine Learning-Based Diagnosis of Breast Cancer Utilizing Feature Optimization Technique*, Computer Methods and Programs in Biomedicine Update, 3, 100098, 2023.
- [14] Laghmati, S., Hamida, S., Hicham, K., Cherradi, B., Tmiri, A., *An Improved Breast Cancer Disease Prediction System Using ML and PCA*, Multimedia Tools and Applications, 83(11), 33785-33821, 2024.
- [15] Kaddes, M., Ayid, Y., M., Elshewey, A., M., Fouad, Y., *Breast Cancer Classification Based on Hybrid CNN with LSTM Model*, Scientific Reports, 15(1), 4409, 2025.
- [16] Demirtaş, F., *Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak Öğrenci Performanslarının Sınıflandırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa, 2025.
- [17] Wuest, T., Weimer, D., Irgens, C., Thoben, K., *Machine Learning in Manufacturing: Advantages, Challenges and Applications*, Production & Manufacturing Research, 4(1), 23-45, 2016.
- [18] Pirge, İ.G., *Denetimli Öğrenme Algoritmaları ile Arıza Tahmini Yapılması*, Troia 3rd International Conference on Applied Sciences, 42-55, Çanakkale, 2026.
- [19] Hamarat, E., G., *Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Çalışanların İş Tatminini Etkileyen Faktörlerin Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa, 2025.

EVALUATING THE EFFECT OF ANNOTATION CONFIDENCE ON TRADITIONAL MACHINE LEARNING FOR HATE SPEECH DETECTION

Prof. Dr., Alper Kürşat UYSAL

Alanya Alaaddin Keykubat University, Rafet Kayış Faculty of Engineering, Department of
Computer Engineering, Antalya, Türkiye,

alper.uyisal@alanya.edu.tr - <https://orcid.org/0000-0002-4057-934X>

ABSTRACT

Annotation confidence is widely used to identify reliable training instances in supervised learning, based on the assumption that removing low-confidence annotations reduces label noise and improves classification performance. This study examines whether this assumption holds for traditional machine learning methods in hate speech detection. Experiments were conducted on the HateXplain dataset, where each text instance is independently annotated by three annotators. Annotation confidence was estimated from annotator agreement, and a high-confidence subset containing only unanimously labeled instances was created. Eight traditional machine learning classifiers, including Logistic Regression, Linear Support Vector Machine, Stochastic Gradient Descent variants, Decision Tree, Random Forest, and Extra Trees, were evaluated using TF-IDF features. Experimental settings were designed by combining the original and high-confidence versions of the training and test sets to separately analyze the effects of training and evaluation data quality. Results show that evaluation on the high-confidence test set consistently improves performance across all classifiers, indicating that unanimously annotated instances are easier to classify. In contrast, training exclusively on the high-confidence subset consistently reduces Macro-F1 scores, regardless of the test set used. The best Macro-F1 score on the original benchmark (0.6476) was achieved by Logistic Regression, while the highest overall Macro-F1 score (0.7377) was obtained using the original training set with the high-confidence test set. These findings indicate that ambiguous training instances provide valuable decision-boundary information rather than merely introducing annotation noise.

Keywords: hate speech detection, annotation confidence, annotator agreement, machine learning, text classification.

1. INTRODUCTION

The rapid advancement of internet technologies has led to an exponential growth in the number of digital text documents (Tiryaki & Uysal, 2026). Text classification has become one of the fundamental tasks in natural language processing, with applications in many domains such as sentiment analysis (Uysal & Uysal, 2022), spam filtering (Bani Younes & Ababneh, 2026), emotion recognition (Lee & Choi, 2026), stress detection (Wan & Tian, 2024), and hate speech detection (Gandhi et al., 2024).

Hate speech detection has become an increasingly important research topic due to the rapid growth of user-generated content on online platforms. Harmful online content may promote discrimination, social polarization, etc. Consequently, numerous studies have investigated hate speech detection using machine learning and deep learning techniques (Rawat et al., 2024; MacAvaney et al., 2019; Alkomah & Ma, 2022). Recent advances in natural language processing have substantially improved classification performance and enabled large-scale automatic monitoring of online content.

Despite these advances, the quality of annotated training data remains one of the most influential factors affecting supervised learning algorithms. The effectiveness of supervised classifiers largely depends on the correctness and consistency of class labels (Song et al., 2022). Since hate speech is inherently subjective, datasets are commonly annotated by multiple human annotators whose judgments may differ depending on linguistic context, personal experience, and interpretation. Consequently, several benchmark datasets provide annotator agreement or confidence information to quantify annotation reliability. Samples with low agreement are generally considered ambiguous and are often assumed to introduce label noise into the learning process.

Although numerous studies have proposed new machine learning and deep learning architectures for hate speech detection, relatively little attention has been paid to the influence of annotation confidence on classifier performance. Existing studies typically employ the original dataset without investigating whether filtering instances according to annotator agreement improves classification performance. Furthermore, the separate effects of annotation confidence in training and evaluation data have received limited attention.

Unlike previous studies, this work focuses on the effect of annotation confidence rather than proposing a new classification algorithm. Using the HateXplain dataset, original and high-confidence versions of both the training and test sets are constructed based on unanimous annotator agreement. Eight traditional machine learning classifiers are evaluated under identical preprocessing and parameter settings using train-test combinations to investigate how annotation confidence influences hate speech detection performance.

The main contributions of this study are summarized as follows:

- We investigate the effect of annotation confidence on the performance of traditional hate speech detection models.

- Original and high-confidence versions of both the training and test sets are constructed using unanimous annotator agreement.
- Train-test combinations are evaluated to separately analyze the effects of training and evaluation data quality.
- Eight traditional machine learning algorithms are compared under identical preprocessing and parameter settings to ensure a fair comparison.
- The impact of annotation confidence on classification performance is analyzed using the Macro-F1 score.

2. RELATED WORK

Hate speech detection has become one of the most extensively studied text classification problems in recent years. Numerous benchmark datasets and machine learning approaches have been proposed to automatically identify hateful online content. Among these datasets, HateXplain is one of the most comprehensive resources because it provides not only hate speech labels but also human rationales and annotations from multiple annotators (Mathew et al., 2020). The dataset contains posts collected from social media platforms and assigns each instance to one of three categories: normal, offensive, or hate speech. Since every instance is independently annotated by three annotators, HateXplain also provides valuable information about annotator agreement, making it suitable for studying annotation confidence.

Rawat et al. presented a comprehensive survey of hate speech detection techniques, covering traditional machine learning, deep learning, and transformer-based approaches (Rawat et al., 2024). The survey highlighted the rapid evolution of hate speech detection methods and emphasized the importance of high-quality annotated datasets for improving classification performance.

Fortuna and Nunes reviewed existing hate speech detection studies and discussed the challenges associated with subjective annotations, dataset construction, and class definitions (Fortuna & Nunes, 2018). Their analysis showed that disagreements among annotators are common because hate speech is a complex phenomenon that relies on linguistic nuances, making it difficult even for humans to identify consistently.

Poletto et al. (2021) conducted a systematic review of publicly available hate speech resources and highlighted substantial heterogeneity across datasets in terms of annotation schemes, annotation guidelines, data sources, and target definitions (Poletto et al., 2021). They argued that these differences complicate comparisons among hate speech detection systems and emphasized the importance of high-quality annotated resources for developing reliable supervised models.

Song et al. reviewed recent deep learning approaches for learning from noisy labels and discussed how label noise degrades the generalization performance of supervised models (Song et al., 2022). Their survey systematically categorized robust training strategies and highlighted the importance of effectively handling noisy labels for reliable classification.

Although previous studies have demonstrated the importance of annotation quality and inter-annotator agreement, relatively few studies have directly investigated whether filtering training instances according to annotation confidence improves hate speech detection performance. Existing hate speech detection research has primarily focused on developing more sophisticated machine learning and deep learning models rather than examining the influence of annotation confidence itself. Furthermore, previous studies generally evaluate models using the original benchmark datasets without separately

analyzing the effects of annotation confidence in both training and test data. Consequently, the impact of annotation confidence on traditional hate speech detection remains insufficiently explored, motivating the present study.

3. CLASSIFICATION ALGORITHMS

In this study, eight traditional machine learning algorithms were employed to evaluate the effect of annotation confidence on hate speech detection performance. All classifiers were trained using identical preprocessing steps and TF-IDF feature representations to ensure a fair comparison. The algorithms selected for this study represent different learning paradigms and have been widely adopted in text classification research.

Logistic Regression (LR) is a linear discriminative classifier that estimates the posterior probability of each class using the logistic function (Oryngoza et al., 2024). It has demonstrated strong performance in many text classification applications because of its robustness and simplicity.

Linear Support Vector Machine (Linear SVM) constructs a linear decision boundary by maximizing the margin between classes (Uysal & Uysal, 2022).

Stochastic Gradient Descent (SGD) (Dagal et al., 2025) is an optimization-based learning algorithm suitable for large-scale text classification. Three variants were evaluated in this study. The first uses the hinge loss, resulting in a Linear SVM-like classifier, while the second employs the modified Huber loss, which combines the advantages of hinge loss with probabilistic predictions and increased robustness to noisy samples.

An additional SGD classifier configured with the PA-I learning strategy was included. This classifier adopts the hinge loss together with the PA-I update rule and preserves the characteristics of the traditional Passive-Aggressive algorithm.

Decision Tree (DT) is a tree-based classification algorithm that recursively partitions the feature space according to feature values (Tiryaki & Uysal, 2026).

Random Forest (RF) is an ensemble learning method that combines multiple decision trees through bootstrap aggregation (Tiryaki & Uysal, 2026). By averaging the predictions of individual trees, Random Forest generally provides better generalization and reduces overfitting compared with a single decision tree.

Extra Trees (ET) is another ensemble-based classifier that introduces additional randomness during tree construction by selecting split thresholds randomly (Elshehewey et al., 2025).

4. EXPERIMENTAL WORK

In this section, comprehensive experiments were conducted to investigate the effect of annotation confidence on the performance of traditional machine learning algorithms for hate speech detection. Original and high-confidence versions of both the training and test sets were constructed from the HateXplain dataset. Train-test combinations were evaluated to separately analyze the influence of annotation confidence in the training and evaluation data. This experimental design enables a fair comparison by distinguishing the effects of training data quality from those of test data quality.

4.1. Datasets

The experiments were conducted using the HateXplain dataset proposed by Mathew et al. (2020). HateXplain is a benchmark dataset for hate speech detection consisting of social media posts annotated independently by three human annotators. Each instance is assigned to one of three classes: normal, offensive, or hate speech. Since multiple annotations are available for every instance, the dataset also provides annotator agreement information that can be used to estimate annotation confidence.

The original training set contains 15,383 instances, while the original independent test set contains 1,924 instances. To investigate the influence of annotation confidence, high-confidence subsets were constructed by retaining only instances with unanimous agreement among all three annotators (confidence = 1.0). This procedure produced filtered versions of both the training and test sets. Consequently, four experimental settings were evaluated by combining the original and high-confidence versions of the training and test data. Table 1 summarizes the datasets used in the experiments.

Table 1. Experimental datasets

Dataset	Sample count
Original training set	15,383
Confidence = 1.0 training set	7,888
Original test set	1,924
Confidence = 1.0 test set	974

4.2. Success measure

The performance of the evaluated classifiers was assessed using the Macro-F1 score. Macro-F1 was selected as the primary evaluation metric because it computes the F1-score independently for each class and then averages the results, assigning equal importance to all classes regardless of their frequencies.

4.3. Performance analysis

This section compares the performance of the evaluated machine learning algorithms under train-test combinations. Unlike previous studies that investigate only the effect of annotation confidence in the training data, this study separately analyzes the influence of annotation confidence in both the training and test sets. Figures 1 and 2 illustrate the Macro-F1 scores obtained using the original and high-confidence test sets, respectively.

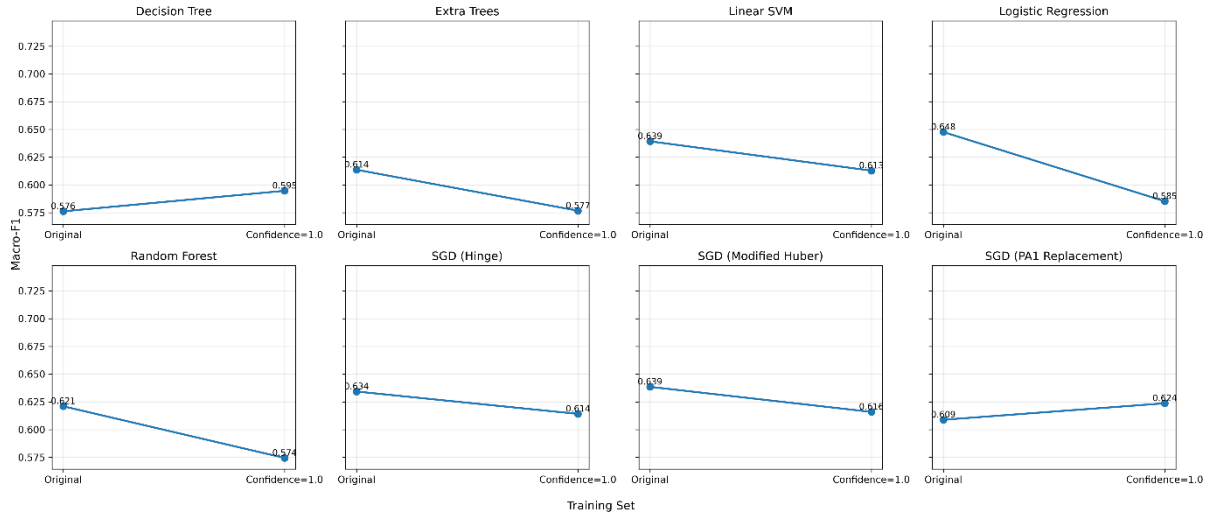


Figure 1. Effect of training annotation confidence on Macro-F1 scores (Original test set)

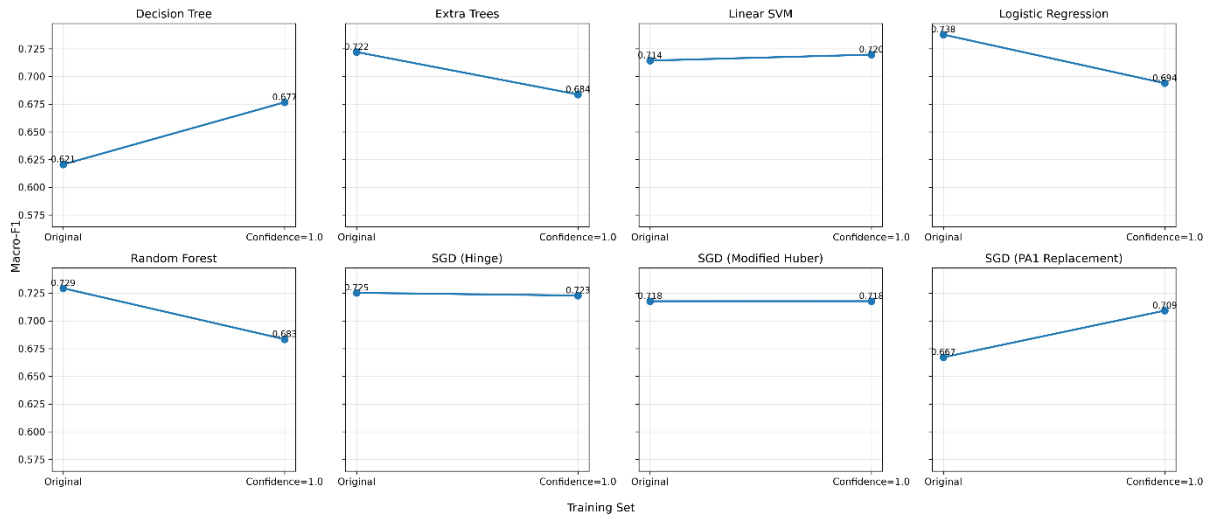


Figure 2. Effect of training annotation confidence on Macro-F1 scores (High-confidence test set)

The results reveal two distinct observations. First, evaluating classifiers on the high-confidence test set consistently produces substantially higher Macro-F1 scores than evaluating on the original test set. This finding indicates that unanimously annotated instances are considerably easier to classify than the complete test set containing more ambiguous examples.

Second, filtering the training data according to annotation confidence does not generally improve classification performance. When the original test set is used, six of the eight evaluated classifiers exhibit lower Macro-F1 scores after training only on unanimously annotated instances. Similar behavior is observed when evaluation is performed on the high-confidence test set. Although Decision Tree and the SGD (PA1 Replacement) classifier show performance improvements after filtering the training data, most classifiers including Logistic Regression, Random Forest, Extra Trees, and SGD (Hinge) either experience noticeable performance degradation or only negligible improvements.

Among the evaluated methods, Logistic Regression achieves the highest Macro-F1 score on the original training data for both test sets, but its performance decreases considerably after filtering the training instances. In contrast, SGD (Modified Huber) exhibits almost identical performance

under both training configurations, indicating that its behavior is relatively insensitive to the removal of ambiguous training samples.

Overall, the experimental results suggest that ambiguous training instances provide useful information for learning decision boundaries rather than merely introducing annotation noise. Although the high-confidence test set is easier to classify, restricting the training data to unanimously annotated instances generally reduces the effectiveness of traditional machine learning algorithms for hate speech detection.

5. CONCLUSIONS

This study investigated the effect of annotation confidence on the performance of traditional machine learning algorithms for hate speech detection. Original and high-confidence versions of both the training and test sets were constructed from the HateXplain dataset using unanimous annotator agreement. Eight widely used traditional machine learning algorithms were evaluated under identical preprocessing and experimental settings using TF-IDF text representations.

The experimental results reveal two important findings. First, evaluating classifiers on the high-confidence test set consistently produced higher Macro-F1 scores than evaluating on the original test set. Second, filtering the training data according to annotation confidence generally reduced classification performance. For most of the evaluated classifiers, training exclusively on unanimously annotated instances resulted in lower Macro-F1 scores than training on the original dataset.

These findings suggest that ambiguous training instances should not simply be regarded as annotation noise. Instead, they appear to provide useful information for learning more robust decision boundaries, enabling traditional machine learning algorithms to generalize more effectively. Consequently, removing low-agreement instances from the training data does not necessarily improve hate speech detection performance.

Future work will investigate whether the same observations hold for transformer-based language models and other text classification tasks involving subjective human annotations, such as sentiment analysis, emotion recognition, and offensive language detection.

REFERENCES

- [1] Alkomah, F., & Ma, X. (2022). A literature review of textual hate speech detection methods and datasets. *Information*, 13(6), 273.
- [2] Bani Younes, M., & Ababneh, A. (2026). Machine Learning Based Spam Detection in Digital Communication Systems: A Comparative Analysis. *Systems*, 14(3), 229.
- [3] Dagal, I., Tanriöven, K., Nayir, A., & Akın, B. (2025). Adaptive stochastic gradient descent (SGD) for erratic datasets. *Future Generation Computer Systems*, 166, 107682.
- [4] Elshewey, A. M., Selem, E., & Abed, A. H. (2025). Improved CKD classification based on explainable artificial intelligence with extra trees and BBFS. *Scientific Reports*, 15(1), 17861.
- [5] Fortuna, P., & Nunes, S. (2018). A survey on automatic detection of hate speech in text. *Acm Computing Surveys (Csur)*, 51(4), 1-30.

- [6] Gandhi, A., Ahir, P., Adhvaryu, K., Shah, P., Lohiya, R., Cambria, E., ... & Hussain, A. (2024). Hate speech detection: A comprehensive review of recent works. *Expert Systems*, 41(8), e13562.
- [7] Lee, S., & Choi, Y. S. (2026). Multimodal emotion recognition with high-level feature fusion of audio and text via cross-attention. *Multimedia Tools and Applications*, 85(2), 63.
- [8] Mathew, B., Saha, P., Yimam, S. M., Biemann, C., Goyal, P., & Mukherjee, A. (2020). Hatexplain: A benchmark dataset for explainable hate speech detection. *arXiv preprint arXiv:2012.10289*.
- [9] MacAvaney, S., Yao, H. R., Yang, E., Russell, K., Goharian, N., & Frieder, O. (2019). Hate speech detection: Challenges and solutions. *PloS one*, 14(8), e0221152.
- [10] Oryngozha, N., Shamo, P., & Igali, A. (2024). Detection and analysis of stress-related posts in reddit's academic communities. *IEEE access*, 12, 14932-14948.
- [11] Poletto, F., Basile, V., Sanguinetti, M., Bosco, C., & Patti, V. (2021). Resources and benchmark corpora for hate speech detection. *Language resources and evaluation*, 55(2), 477-523.
- [12] Rawat, A., Kumar, S., & Samant, S. S. (2024). Hate speech detection in social media: Techniques, recent trends, and future challenges. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, 16(2), e1648.
- [13] Song, H., Kim, M., Park, D., Shin, Y., & Lee, J. G. (2022). Learning from noisy labels with deep neural networks: A survey. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 34(11), 8135-8153.
- [14] Tiriyaki, H., & Uysal, A. K. (2026). Two novel feature selection methods for imbalanced text classification. *Multimedia Tools and Applications*, 85(4), 351.
- [15] Uysal, D., & Uysal, A. K. (2022). Automatic classification of EFL learners' self-reported text documents along an affective continuum. *Advanced Education*, 4-14.
- [16] Wan, X., & Tian, L. (2024). User stress detection using social media text: A novel machine learning approach. *International Journal of Computers Communications & Control*, 19(5).

MISIR TARLALARINDA YABANCI OT TESPİTİ İÇİN DERİN ÖĞRENME TABANLI NESNE TESPİT MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Öğr. Gör. Dr., Mahmut AYDIN

Kafkas Üniversitesi,

mahmut.aydin@kafkas.edu.tr - 0000-0002-2043-774X

ÖZET

Günümüzde yabancı otlar, mısır üretiminde verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen en önemli biyotik stres faktörlerinden biridir. Yabancı otların erken ve doğru şekilde tespit edilmesi, hassas tarım uygulamalarında gereksiz herbisit kullanımının azaltılması, üretim maliyetlerinin düşürülmesi ve çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, mısır tarlalarında yabancı ot tespitine yönelik dört güncel derin öğrenme tabanlı nesne tespit modeli (YOLO11s, RT-DETR-L, Faster R-CNN ve RetinaNet) CornWeed veri kümesi üzerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan veri kümesi %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olarak bölünmüştür; tüm modeller aynı veri, aynı eğitim stratejisi ve aynı donanım koşulları altında eğitilerek adil bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Modellerin performansı Precision, Recall, mAP@50 ve mAP@50:95 ölçütleri ile değerlendirilmiş, ayrıca eğitim süresi ve parametre sayısı dikkate alınarak hesaplama maliyetleri analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar RT-DETR-L modelinin mAP@50 metriğinde %87,70 ile en yüksek başarıyı elde ettiğini, YOLO11s modelinin ise mAP@50:95 metriğinde %57,31 ile en başarılı performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca YOLO11s yalnızca 9,43 milyon parametre ve yaklaşık 25 dakikalık eğitim süresiyle diğer modellere göre önemli ölçüde daha düşük hesaplama maliyetine sahip olmasına rağmen yüksek doğruluk değerleri elde etmiştir. Buna karşın Faster R-CNN ve RetinaNet modelleri daha yüksek hesaplama gereksinimlerine rağmen daha düşük performans sergilemiştir. Sonuç olarak, YOLO11s modeli doğruluk, hesaplama maliyeti ve eğitim süresi arasında en dengeli performansı sunarak gerçek zamanlı hassas tarım uygulamaları için güçlü bir alternatif olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Mısır, Yabancı Ot Tespiti, Derin Öğrenme, Nesne Tespiti, Hassas Tarım

**A COMPARATIVE ANALYSIS OF DEEP LEARNING-BASED OBJECT
DETECTION MODELS FOR WEED DETECTION IN MAIZE FIELDS**

Lecturer Dr., Mahmut AYDIN

Kafkas University,

mahmut.aydin@kafkas.edu.tr - 0000-0002-2043-774X

ABSTRACT

Weeds are among the most significant biotic stress factors limiting maize productivity by competing with crops for water, nutrients, sunlight, and growing space. Accurate and timely weed detection is essential for reducing herbicide use, lowering production costs, and improving the sustainability of precision agriculture practices. This study presents a comparative evaluation of four state-of-the-art deep learning based object detection models, namely YOLO11s, RT-DETR-L, Faster R-CNN, and RetinaNet, for weed detection in maize fields using the publicly available CornWeed dataset. The dataset was divided into 70% training, 15% validation, and 15% testing subsets. To ensure a fair comparison, all models were trained under identical experimental conditions using the same dataset split, training strategy, and hardware environment. Model performance was assessed using Precision, Recall, mAP@50, and mAP@50:95 metrics, while computational efficiency was evaluated through training time and model size. Experimental results demonstrated that RT-DETR-L achieved the highest detection accuracy with an mAP@50 score of 87.70%, whereas YOLO11s produced the best localization performance with an mAP@50:95 score of 57.31%. Moreover, YOLO11s required only 9.43 million parameters and approximately 25 minutes of training, substantially reducing computational cost while maintaining highly competitive detection performance. In contrast, Faster R-CNN and RetinaNet required considerably higher computational resources but achieved lower detection accuracy. Overall, the findings indicate that YOLO11s offers the best balance between detection accuracy, computational efficiency, and training time, making it a promising candidate for real-time weed detection systems in precision agriculture. The results also provide valuable guidance for selecting appropriate object detection models in intelligent agricultural applications.

Keywords: Maize, Weed Detection, Deep Learning, Object Detection, Precision Agriculture

1. GİRİŞ

Tarımsal üretim, artan dünya nüfusunun gıda ihtiyacının karşılanması ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin gerçekleştirilmesi açısından stratejik öneme sahip sektörlerden biridir. Tahıl ürünleri içerisinde yer alan mısır (*Zea mays* L.), yüksek verim potansiyeli, geniş kullanım alanı ve insan beslenmesi, hayvan yemi ile endüstriyel üretimdeki kritik rolü nedeniyle dünya genelinde en yaygın yetiştirilen ürünlerden biri olarak kabul edilmektedir [1], [2], [3]. Bununla birlikte, artan üretim ihtiyacına rağmen mısır yetiştiriciliğinde verim ve kaliteyi olumsuz etkileyen birçok biyotik ve abiyotik faktör bulunmaktadır. Bu faktörler arasında yabancı otlar, kültür bitkileriyle su, besin maddeleri, güneş ışığı ve yaşam alanı gibi temel kaynaklar için rekabet ederek bitki gelişimini sınırlandırmakta, ürün verimini düşürmekte ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır [4], [5]. Bu nedenle yabancı otların doğru zamanda ve doğru yöntemlerle belirlenmesi, sürdürülebilir ve hassas tarım uygulamalarının temel bileşenlerinden biri olarak büyük önem taşımaktadır [6].

Geleneksel yabancı ot mücadele yöntemleri; iş gücü maliyetleri, herbisit direnci, çevresel kirlilik ve sağlık riskleri gibi nedenlerle sürdürülebilirlik açısından ciddi sınırlılıklara sahiptir [3], [7], [8], [9], [10]. Özellikle geniş tarım alanlarında yabancı otların manuel olarak belirlenmesi ve kontrol edilmesi zaman alıcı, iş gücü gerektiren, yüksek maliyetli ve hataya açık bir süreçtir. Ayrıca, tarlanın tamamına yeknesak herbisit uygulanması faydalı bitki ve toprak organizmalarına zarar vererek gereksiz kimyasal kullanımına, dolayısıyla ekonomik kayıplara ve çevresel sorunlara yol açmaktadır [10], [11]. Bu nedenle, yabancı otların erken dönemde doğru bir şekilde tespit edilmesini sağlayan ve yalnızca gerekli alanlara hassas müdahale imkânı sunan akıllı karar destek sistemlerine olan ihtiyaç giderek artmaktadır [12].

Son yıllarda yapay zekâ, bilgisayarlı görü ve derin öğrenmedeki gelişmeler; İHA, mobil kamera ve tarım robotlarından alınan yüksek çözünürlüklü görüntüler vasıtasıyla ürün gelişimi, hastalık teşhisi, verim tahmini ve yabancı ot tespiti gibi hassas tarım uygulamalarına yeni bir boyut kazandırmıştır [11], [13], [14]. Bu gelişmeler sayesinde yalnızca yabancı otların varlığının belirlenmesi değil, aynı zamanda konumlarının yüksek hassasiyetle tespit edilmesi mümkün hale gelmiş ve noktasal ilaçlama gibi çevre dostu uygulamaların geliştirilmesine önemli katkılar sağlanmıştır [11].

Makine öğrenmesinin bir alt kümesi olan derin öğrenme, hiyerarşik temsillerin öğrenilmesini ve büyük veri kümelerinden karmaşık kalıpların keşfedilmesini sağlamaktadır [15]. Derin öğrenme tabanlı nesne tespiti modelleri; görüntü içerisindeki nesnelerin hem sınıflandırılmasını hem de konumlarının hassas bir şekilde belirlenmesini eş zamanlı olarak gerçekleştirebilmeleri sayesinde hassas tarım uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir [16], [17], [18].

Literatürde yabancı ot tespitine yönelik gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde, derin öğrenme tabanlı nesne tespit modellerinin tarımsal görüntüler üzerinde başarılı sonuçlar elde ettiği görülmektedir [16]. Özellikle YOLO tabanlı modeller [19], gerçek zamanlı uygulamalardaki yüksek işlem hızları ve doğruluk oranları nedeniyle yaygın olarak tercih

edilirken [3]; Faster R-CNN [20], RetinaNet [20] ve son dönemde geliştirilen RT-DETR [21] gibi modeller de farklı veri kümeleri üzerinde umut verici performanslar sergilemiştir [3], [22]. Bununla birlikte, mevcut çalışmaların büyük bölümü belirli bir modele odaklanmış ya da kısıtlı sayıda modeli karşılaştırmıştır. Ayrıca, farklı nesne tespit modellerinin aynı veri kümesi, aynı eğitim stratejisi ve aynı değerlendirme ölçütleri altında kapsamlı biçimde kıyaslandığı çalışmaların sayısı halen oldukça azdır. Bu durum, modellerin güçlü ve zayıf yönlerinin objektif olarak değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışmada, mısır tarlalarında yabancı ot tespiti için YOLO11s, RetinaNet, Faster R-CNN ve RT-DETR-L modelleri kamuya açık CornWeed veri kümesi üzerinde eşit koşullarda eğitilerek karşılaştırılmıştır. Modellerin performansı kesinlik, duyarlılık, mAP@50 ve mAP@50:95 ölçütleriyle değerlendirilmiş olup elde edilen bulguların hassas tarım uygulamalarında uygun nesne tespit modelinin seçimine katkı sunması hedeflenmektedir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Liu ve ark. [2], mısırın fide döneminde yabancı otların gerçek zamanlı tespiti için dikkat mekanizması ve SPP yapısı ile geliştirilmiş hafif bir YOLOv4-tiny modeli önermiştir. Faster R-CNN, SSD300, YOLOv3 ve YOLOv3-tiny ile yapılan karşılaştırmalarda önerilen model %86.69 mAP ve 57.33 FPS ile başarılı doğruluk ve gerçek zamanlı performans sağlamıştır. Başka bir çalışmada, Iqbal ve ark. [6] tarımsal alanlarda nesne tespiti için geliştirilen CornWeed veri setini tanıtmış ve veri seti üzerinde dönemin güncel nesne tespit algoritmalarının performanslarını karşılaştırmıştır. Ayrıca modellerin ONNX ve TensorRT formatlarındaki uygulanabilirlikleri değerlendirilmiş ve hassas tarım uygulamalarında doğruluk ile hesaplama performansının birlikte ele alınmasının önemi vurgulanmıştır. Kharisma ve Kazic [3] yaptıkları çalışmada, mısır fide sayımı için geliştirilen MSDD veri setini tanıtmış ve YOLO11 ile YOLOv9 başta olmak üzere çeşitli nesne tespit modellerini karşılaştırmıştır. Sonuçlar, YOLO11'in en hızlı çıkarım süresine, YOLOv9'un ise tek bitki tespitinde en yüksek doğruluğa sahip olduğunu göstermiştir. Peng ve ark. [16], YOLO11n tabanlı hafif bir yabancı ot tespit modeli olan AGRI-YOLO'yu önermiştir. Model, %84.7 precision, %73.0 recall ve %82.8 mAP50 değerlerine ulaşırken, YOLO11n'e göre parametre sayısı, GFLOPs ve model boyutunu önemli ölçüde azaltarak kenar cihazlarda gerçek zamanlı kullanım için uygun bir çözüm sunmuştur. Başka bir çalışmada [23] araştırmacılar, kırmızı, yeşil, mavi (RGB) ve yakın kızılötesi (NIR) verilerine dayanarak şeker pancarlarını tespit edebilen ve yapraklarını sayabilen bir şeker pancarı nesne tespiti algoritması sunmaktadır. Liu ve ark. [13], mobil gömülü sistemler için MobileViT tabanlı hafif bir yabancı ot tanıma modeli önermiştir. ECA dikkat mekanizması ile geliştirilen model, %98.51 F1 skoru ve 89 ms ortalama işlem süresi elde ederek yüksek doğruluk ve düşük hesaplama maliyetini birlikte sunmuştur. Nagaraj ve ark. [24], yoğun susam tarlalarında yabancı ot tespiti için IoT destekli R-CNN tabanlı hibrit bir model önermiştir. Yaklaşık 1.300 görüntü üzerinde eğitilen model, %99.73 sınıflandırma doğruluğu ve 0.787 IoU değeri elde ederek yoğun bitki örtüsünde başarılı performans göstermiştir. Hu ve ark. [25], farklı yabancı ot türlerinin sınıflandırılması için grafik tabanlı Graph Weeds Net (GWN) mimarisini önermiştir. Model, çok ölçekli grafik temsilleri

kullanarak %98.1 Top-1 doğruluk elde etmiş ve robotik yabancı ot kontrol sistemleri için başarılı sonuçlar sunmuştur. Teimouri ve ark. [26], hassas tarımda yabancı ot tespiti için EfficientDet-D3 ve YOLOv5m modellerini karşılaştırmıştır. 26.000'in üzerinde RGB görüntü ile gerçekleştirilen çalışmada, her iki model sentetik görüntülerde başarılı sonuçlar verirken, yoğun örtüşme ve karmaşık arka plana sahip gerçek tarla görüntülerinde performanslarının düştüğü gösterilmiş ve RoboWeedMap veri seti araştırmacılarla paylaşılmıştır. Zhuang ve ark. [27], buğday tarlalarında geniş yapraklı yabancı otların tespiti için çeşitli nesne tespit ve görüntü sınıflandırma modellerini karşılaştırmıştır. Sonuçlar, görüntü sınıflandırma modellerinin 0.99'a varan F1 skoru ile nesne tespit modellerinden daha başarılı olduğunu ve yoğun bitki örtüsünün nesne tespit performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir.

Çizelge 1. Derin öğrenme tabanlı yabancı ot tespiti üzerine yapılan son çalışmaların özeti

Çalışma/Yazarlar	Veri Seti/Ürün	Kullanılan Model(ler)	Temel Bulgular
Liu ve ark. [2]	Mısır	Geliştirilmiş YOLOv4-tiny	%86.69 mAP ve 57.33 FPS ile gerçek zamanlı yabancı ot tespiti.
Kharisma ve Kazic [3]	Mısır	YOLO11, YOLOv9	YOLO11 en hızlı, YOLOv9 en yüksek doğruluk.
Iqbal ve ark. [6]	CornWeed	YOLO tabanlı modeller	CornWeed veri seti tanıtılmış, doğruluk ve hız karşılaştırılmıştır.
Liu ve ark. [13]	Yabancı ot görüntüleri	MobileViT + ECA	%98.51 F1 ve 89 ms işlem süresi.
Peng ve ark. [16]	Tarla görüntüleri	AGRI-YOLO	mAP50=%82.8, düşük hesaplama maliyeti.
Nagaraj ve ark. [24]	Susam	IoT destekli R-CNN	%99.73 doğruluk ve 0.787 IoU.
Hu ve ark. [25]	Yabancı ot görüntüleri	Graph Weeds Net (GWN)	%98.1 Top-1 doğruluk.
Teimouri ve ark. [26]	Buğday	EfficientDet-D3, YOLOv5m	Gerçek tarla koşullarında performans düşüşü gösterildi.
Zhuang ve ark. [27]	Buğday	Nesne tespit ve sınıflandırma modelleri	Görüntü sınıflandırma modelleri daha başarılı bulundu.

Error! Reference source not found.'de özetlendiği üzere, literatürdeki önceki çalışmalar derin öğrenme tabanlı nesne tespit modellerinin yabancı ot tespitindeki yüksek etkinliğini açıkça ortaya koymaktadır. Bununla birlikte, mevcut araştırmaların büyük bir kısmı tek bir model mimarisine odaklanmış veya farklı veri kümeleri, hiperparametreler ve deneysel koşullar altında yürütülmüştür. Bu durum, modeller arasında doğrudan ve objektif bir performans karşılaştırması yapılmasını zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, aynı veri kümesi ve eşit eğitim

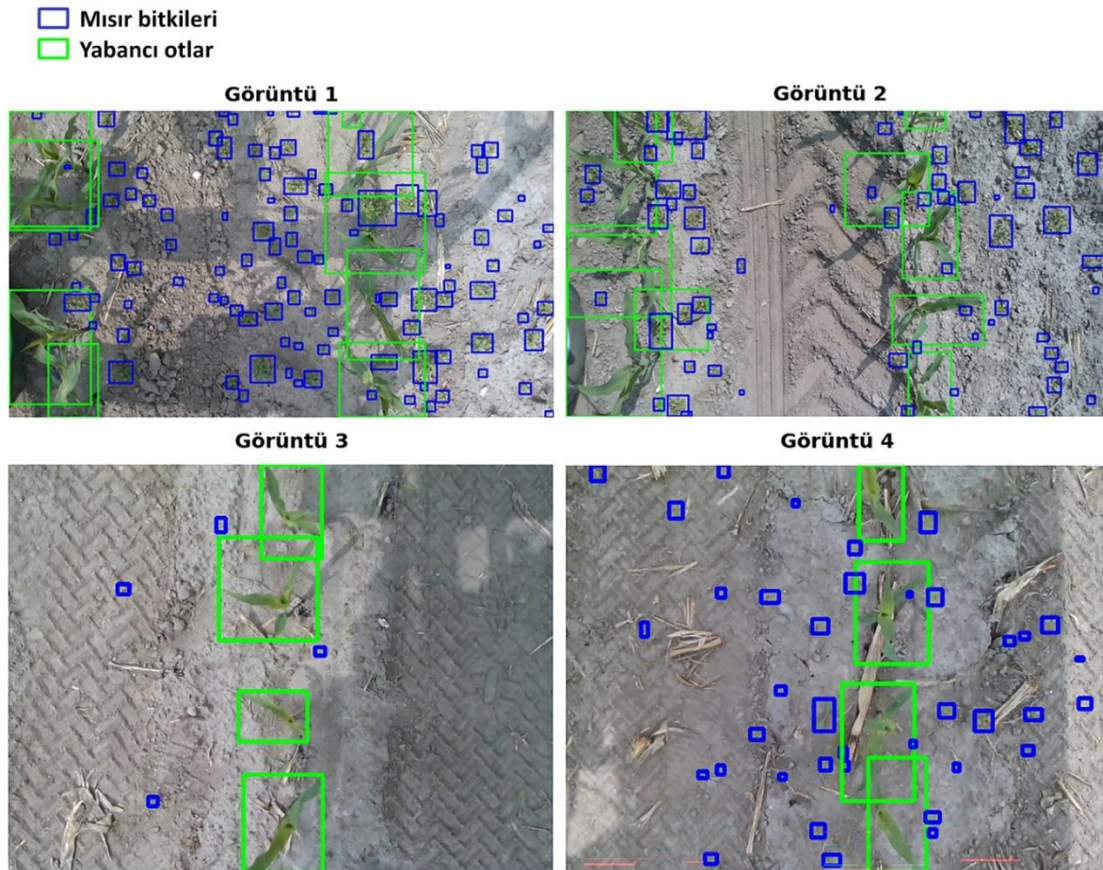
stratejileri altında gerçekleştirilecek karşılaştırmalı analizler, farklı derin öğrenme mimarilerinin güçlü ve zayıf yönlerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. CornWeed Veri Seti

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel analizlerde, mısır tarlalarında yabancı ot tespitine yönelik geliştirilen açık erişimli CornWeed [28] veri kümesi kullanılmıştır. Koleksiyondaki tüm görüntüler, alanında uzman kişiler tarafından manuel olarak etiketlenmiş ve doğrulukları titizlikle kontrol edilmiştir.

CornWeed veri seti, 3.574 adet elle etiketlenmiş görüntü ile birlikte, model geliştirme ve değerlendirme süreçlerinde kullanılabilecek 4.981 adet etiketsiz görüntü içermektedir. Etiketli görüntülerde iki farklı sınıf tanımlanmıştır: mısır (*Zea mays*) ve yabancı ot (weed). Veri setinde toplam 23.985 adet mısır ve 257.740 adet yabancı ot nesnesine ait sınırlayıcı kutu (bounding box) etiketlemesi yer almaktadır [28]. CornWeed veri setinden seçilen rastgele görseller **Görsel 1**'de sunulmuştur.



Görsel 1. CornWeed veri setinden seçilen örnek görüntüler. Yeşil sınırlayıcı kutular yabancı otları, mavi sınırlayıcı kutular ise mısır bitkilerini temsil etmektedir.

3.2. Veri Önışleme

CornWeed veri kümesindeki etiketli görüntüler, tüm nesne tespit modellerinin eğitim ve test süreçlerinde doğrudan kullanılabilir şekilde hazırlanmıştır. Deneysel sonuçların tarafsızlığını ve karşılaştırılabilirliğini garanti altına almak amacıyla veri kümesi, rastgele örnekleme yöntemiyle %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test olmak üzere üç bağımsız alt kümeye ayrılmıştır [29], [30].

CornWeed veri setinde nesne açıklamaları YOLO biçiminde bulunduğundan, YOLO11s ve RT-DETR-L modelleri eğitim sürecinde bu etiketleri doğrudan kullanmıştır. Buna karşılık, Faster R-CNN ve RetinaNet modellerinin gerektirdiği veri yapısını sağlamak amacıyla YOLO biçimindeki etiketler tek seferlik bir dönüştürme işlemiyle COCO formatına çevrilmiştir. Böylece tüm modeller aynı görüntü ve nesne açıklamalarını kullanarak eğitilmiş, yalnızca model mimarisinden kaynaklanan performans farklılıklarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

3.3 Nesne Tespit Modelleri

Bu çalışmada; mısır tarlalarında yabancı ot tespiti için güncel literatürde yaygın kullanılan, yüksek doğruluk sunan ve gerçek zamanlı uygulamalara uygun farklı mimarilerdeki dört derin öğrenme modeli (YOLO11s, RetinaNet, RT-DETR-L ve Faster R-CNN) karşılaştırılmıştır.

YOLO11s: YOLO ailesinin en güncel ve gelişmiş üyelerinden biri olup, sınır kutularını ve sınıf olasılıklarını tahmin etmek için tüm görüntüyü tek bir geçişte işleyen tek aşamalı bir yaklaşıma dayanmaktadır [19], [31].

RT-DETR-L: Real-Time Detection Transformer mimarisine dayanan ve gerçek zamanlı nesne tespiti için geliştirilen Transformer tabanlı güncel bir yaklaşımdır. Görüntü içerisindeki uzun mesafeli nesne ilişkilerini ve küresel bağlamı etkin biçimde öğrenebilmesi sayesinde, karmaşık tarlalarda evrişimli sinir ağı (CNN) tabanlı modellere güçlü bir alternatif oluşturmaktadır [21], [32], [33].

Faster R-CNN: İki aşamalı (two-stage) nesne tespit mimarisinin temel taşlarından biri olup, yüksek doğruluk potansiyeli nedeniyle literatürde altın standart (referans) modeller arasında yer almaktadır. Bölge öneri ağı (RPN) sayesinde özellikle küçük nesne ve yabancı ot tespiti süreçlerindeki başarısı nedeniyle çalışmaya eklenmiştir [20], [34].

RetinaNet: Tek aşamalı modellerde sıkça karşılaşılan ön plan - arka plan dengesizliğini çözmek amacıyla geliştirilen Focal Loss kayıp fonksiyonuna dayalı bir mimaridir. Karmaşık tarla zeminlerinde yabancı otları ayırt etmedeki kararlılığı nedeniyle değerlendirilmiştir [20], [35].

Tüm modeller aynı eğitim, doğrulama ve test veri setleri kullanılarak eğitilmiş ve aynı donanım ortamında değerlendirilmiştir.

3.4 Kullanılan Yazılım ve Donanım Bilgileri

Bu çalışmada yürütülen tüm deneysel süreçler, Python programlama dili tabanlı kütüphaneler kullanılarak Google Colaboratory (Google Colab) [36] bulut ortamında gerçekleştirilmiştir. Derin öğrenme modellerinin yüksek işlem gücü gerektiren eğitim ve değerlendirme aşamalarında GPU hızlandırmalı altyapıdan faydalanılmıştır. Eğitim sürecinde, CUDA 13.0 sürücü desteğine sahip NVIDIA A100-SXM4-80GB grafik kartı kullanılmıştır. Modellerin mimari kurulumları, eğitimi ve performans analizleri PyTorch derin öğrenme çatısı ve Ultralytics kütüphanesi entegrasyonu ile yürütülmüştür. Çalışma kapsamında kullanılan tüm modeller; birebir aynı veri bölünmesi, donanım ortamı ve ortak deneysel koşullar altında eğitilerek performansları kapsamlı bir şekilde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Çalışmada karşılaştırılan nesne tespit modellerine ait eğitim hiperparametreleri ve deneysel yapılandırmalar

Model	YOLO11s	RT-DETR-L	Faster R-CNN	RetinaNet
Eğitim Döngüsü (Epoch)	100	100	100	100
Optimizasyon Algoritması (Optimizer)	AdamW	AdamW	AdamW	AdamW
Öğrenme Oranı (Learning Rate)	0.001	0.001	0.001	0.001
Ağırlık Azaltma Katsayısı (Weight Decay)	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Yığın Boyutu (Batch Size)	32	32	4	4
Giriş Boyutu (Input Size)	640×640	640×640	Orijinal Görsel	Orijinal Görsel
Öğrenme Oranı Zamanlayıcısı (LR Scheduler)	Cosine	Cosine	CosineAnnealingLR	CosineAnnealingLR

3.5 Performans Değerlendirme Ölçütleri

Çalışmada geliştirilen nesne tespit modellerinin başarımını değerlendirmek amacıyla; Kesinlik (Precision), Duyarlılık (Recall), mAP@50) ve mAP@50:95 performans ölçütleri kullanılmıştır. Test veri seti üzerinde, eğitilmiş modeller kullanılarak aynı donanım koşulları altında FPS değerleri hesaplanmıştır. Bu ölçütler, nesne tespit literatüründe kabul görmüş standart göstergeler olup modelin hem doğru sınıflandırma hem de sınırlayıcı kutu seviyesinde doğru konumlandırma yeteneğini bütüncül olarak ölçmektedir. Bu ölçütler, nesne tespit çalışmalarında yaygın olarak kullanılan temel performans göstergeleridir.

Çizelge 3. Çalışmada kullanılan performans değerlendirme ölçütleri [37], [38]

Metrik	Açıklama	Formül
Kesinlik (Precision)	Model tarafından tespit edilen nesneler içerisinde doğru tahmin edilenlerin oranını ifade eder.	$\text{precision} = \frac{TP}{TP + FP}$
Duyarlılık (Recall / Sensitivity)	Veri kümesindeki gerçek nesnelerin model tarafından ne kadarının doğru şekilde tespit edildiğini ifade eder.	$\text{recall} = \frac{TP}{TP + FN}$
mAP	Nesne algılama uygulamalarında, ortalama hassasiyet (mAP), model performansının değerlendirilmesinde kullanılan standart bir ölçüttür.	$\text{mAP} = \frac{\sum_{c=1}^C \text{AP}(c)}{C}$

Nesne tespit performansının değerlendirilmesinde Precision-Recall eğrisinin altında kalan alanı ifade eden Average Precision (AP) kullanılmıştır. mAP@50, 0.50 IoU eşliğindeki ortalama başarıyı gösterirken; COCO protokolüne uygun 0.50-0.95 IoU aralığında 0.05 artışlarla hesaplanan mAP@50:95, konumlandırma doğruluğunu daha hassas ölçerek güvenilir bir karşılaştırma sunmaktadır.

4. BULGULAR

Bu bölümde CornWeed veri seti üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bulgular sunulmuş ve farklı nesne tespit modellerinin performansları karşılaştırılmıştır. Çalışmada değerlendirilen YOLO11s, Faster R-CNN, RetinaNet ve RT-DETR-L modellerinin test veri kümesi üzerindeki performans sonuçları **Çizelge 4**'te sunulmaktadır. Modeller; Precision, Recall, mAP@50 ve mAP@50:95 performans ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

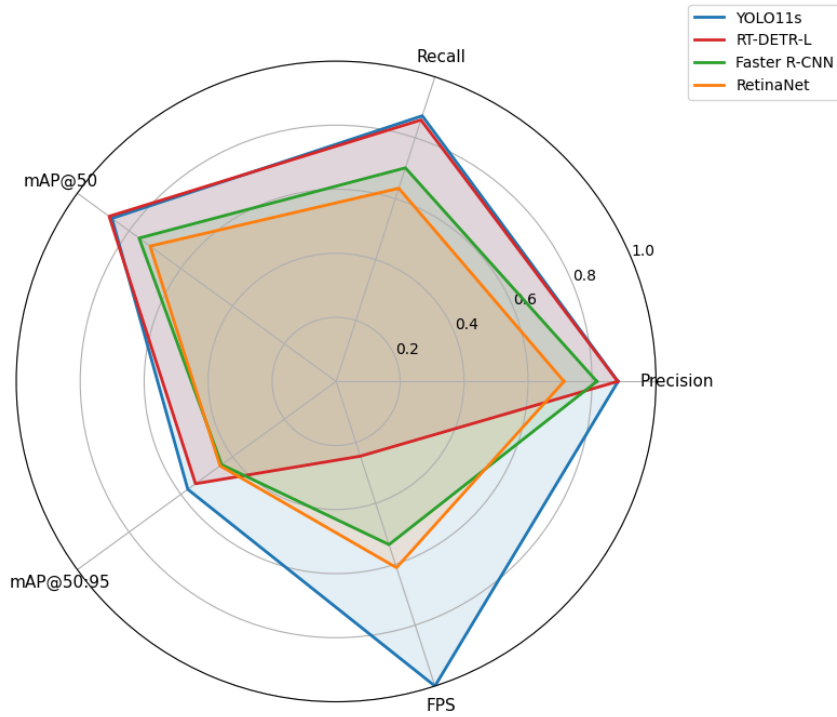
Çizelge 4. Çalışmada değerlendirilen nesne tespit modellerinin performans sonuçları

Model	Precision (%)	Recall (%)	mAP@50 (%)	mAP@50:95 (%)	FPS
YOLO11s	88.15	87.20	86.62	57.31	105.27
RT-DETR-L	88.04	85.83	87.70	54.32	25.82
Faster R-CNN	81.52	70.11	76.13	44.23	56.37
RetinaNet	71.24	63.40	71.88	44.83	64.35

4.1 Nesne Tespit Modellerinin Performans Karşılaştırması

Çalışmada değerlendirilen YOLO11s, RetinaNet, Faster R-CNN ve RT-DETR-L modellerinin test veri kümesi üzerindeki performansları **Çizelge 4** ve **Görsel 2**'de sunulmaktadır. **Görsel 2** incelendiğinde, RT-DETR-L modelinin 87.70 mAP@50 değeri ile en yüksek performansı elde ettiği görülmektedir. YOLO11s modeli ise 86.62 mAP@50 değeri ile RT-DETR-L modeline oldukça yakın bir başarı göstermiştir. Faster R-CNN ve RetinaNet modelleri sırasıyla 76.13 ve

71.88 mAP@50 değerleri elde ederek daha düşük performans sergilemiştir. Daha zorlu bir değerlendirme ölçütü olan mAP@50:95 sonuçları incelendiğinde ise farklı bir sıralama ortaya çıkmaktadır. YOLO11s, 57.31 değeri ile en yüksek performansı gösterirken, RT-DETR-L modeli 54.32 ile ikinci sırada yer almıştır. RetinaNet (44.83) ve Faster R-CNN (44.23) modelleri ise birbirine yakın sonuçlar elde etmiştir. Bu durum, YOLO11s modelinin daha yüksek IoU eşiklerinde nesnelerin konumlarını daha doğru belirleyebildiğini göstermektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, RT-DETR-L modeli düşük IoU eşiklerinde en yüksek tespit başarısını sağlarken, YOLO11s modeli daha sıkı değerlendirme koşullarında üstün performans göstermiştir. Buna karşılık RetinaNet ve Faster R-CNN modellerinin her iki performans ölçütünde de modern tek aşamalı nesne tespit mimarilerine kıyasla daha düşük başarı sergilediği görülmektedir.



Görsel 2. YOLO11s, RT-DETR-L, Faster R-CNN ve RetinaNet modellerinin Precision, Recall, mAP@50, mAP@50:95 ve normalize edilmiş FPS değerlerine göre performans karşılaştırması.

4.2. Hesaplama Performansının Karşılaştırılması

Gerçek zamanlı tarımsal uygulamalarda yalnızca doğruluk değil, aynı zamanda modelin hesaplama maliyeti de önem taşımaktadır. Bu nedenle çalışmada kullanılan modeller eğitim süresi, çıkarım süresi ve model boyutu açısından da değerlendirilmiştir.

Çizelge 5. Hesaplama maliyeti

Model	Eğitim Süresi	Parametre Sayısı
YOLO11s	25 dk	9.43 M
RT-DETR-L	175 dk	32.81 M

Faster R-CNN	209 dk	41.8 M
RetinaNet	183 dk	38.2 M

Bu sonuçlar, farklı nesne tespit modellerinin doğruluk ve hesaplama maliyeti açısından avantaj ve dezavantajlarının değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

Derin öğrenme tabanlı nesne tespit modellerinin değerlendirilmesinde yalnızca doğruluk performansı değil, aynı zamanda hesaplama maliyeti de önemli bir kriterdir. Bu nedenle çalışmada kullanılan modeller; parametre sayısı ve 100 epoch için toplam eğitim süresi açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar **Çizelge 5**'de sunulmaktadır.

YOLO11s, 9.43 milyon parametre ile incelenen modeller arasında en düşük hesaplama maliyetine sahip model olmuştur. Ayrıca yaklaşık 25 dakikalık eğitim süresi ile diğer modellere kıyasla belirgin şekilde daha hızlı eğitilmiştir. Buna rağmen mAP@50 ve özellikle mAP@50:95 değerleri açısından oldukça rekabetçi sonuçlar elde etmesi, modelin hesaplama verimliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir.

RT-DETR-L modeli ise 32.81 milyon parametre ile YOLO11s'e göre önemli ölçüde daha yüksek hesaplama maliyetine sahiptir. Yaklaşık 175 dakikalık eğitim süresi sonunda mAP@50 metriğinde en yüksek başarıyı elde etmiş olsa da, bu artışın YOLO11s'e göre oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Buna karşın mAP@50:95 değerinde YOLO11s daha başarılı sonuç vermiştir. Bu durum, daha yüksek hesaplama maliyetinin her zaman belirgin bir performans artışı sağlamadığını göstermektedir.

İki aşamalı nesne tespit modelleri olan Faster R-CNN ve RetinaNet ise sırasıyla yaklaşık 209 dakika ve 183 dakika eğitim süresi gerektirmiştir. Ayrıca bu modellerin parametre sayıları da YOLO11s'e kıyasla daha yüksektir. Buna rağmen her iki modelin mAP@50 ve mAP@50:95 değerleri, YOLO11s ve RT-DETR-L modellerinin gerisinde kalmıştır. Bu sonuçlar, incelenen veri kümesi için yüksek hesaplama maliyetinin doğrudan daha yüksek tespit başarısına dönüşmediğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, YOLO11s doğruluk ve eğitim süresi arasında en dengeli performansı sunarken, RT-DETR-L en yüksek mAP@50 değerini elde etmiştir. Buna karşılık Faster R-CNN ve RetinaNet modelleri daha yüksek hesaplama gereksinimlerine rağmen doğruluk açısından belirgin bir avantaj sağlayamamıştır. Bu bulgular, gerçek zamanlı veya hesaplama kaynaklarının sınırlı olduğu hassas tarım uygulamalarında YOLO11s modelinin daha uygun bir alternatif olduğunu göstermektedir.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada mısır tarlalarında yabancı ot tespiti için YOLO11s, RT-DETR-L, Faster R-CNN ve RetinaNet modelleri CornWeed veri seti üzerinde kıyaslanmıştır. RT-DETR-L modeli mAP@50 metriğinde en yüksek performansı sergilerken, YOLO11s modeli mAP@50:95 metriğinde öne çıkmış ve belirgin şekilde düşük hesaplama maliyetiyle dikkat çekmiştir.

YOLO11s'in az parametre ve düşük karmaşıklığa rağmen yüksek doğruluk sunması, modern tek aşamalı mimarilerin hassas tarımdaki etkinliğini kanıtlamaktadır. Özellikle yaklaşık 25 dakikalık eğitim süresiyle sağladığı zaman avantajı, büyük ölçekli tarımsal verilerde model geliştirme süreçlerini hızlandırmaktadır. Transformer tabanlı RT-DETR-L ise en yüksek mAP@50 değerine ulaşmasına karşın, yaklaşık yedi kat uzun eğitim süresi ve yüksek hesaplama maliyeti nedeniyle gerçek zamanlı sistemler için dezavantajlıdır.

Önceki çalışmalar; görüntü sınıflandırma modellerinin yüksek doğruluğa rağmen yabancı otların konumsal bilgilerini sunmadığını ve bu nedenle hassas tarımda sınırlı kaldığını göstermektedir. Nesne tespiti tabanlı yaklaşımlar ise tek bir görüntüde birden fazla yabancı otu eş zamanlı tanımlayıp konumlandırabilmektedir. Bu doğrultuda son yıllarda araştırmalar, YOLO ve Faster R-CNN gibi nesne tespit modellerinin geliştirilmesi ve kıyaslanması üzerine yoğunlaşmıştır [8].

Peng ve ark. [16], kenar cihazlar için geliştirilen AGRI-YOLO modelinin hesaplama maliyetini düşürürken yüksek doğruluğu koruduğunu bildirmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da YOLO11s modeli; düşük parametre sayısı ve hesaplama yüküne rağmen yüksek tespit başarısı sergilemiştir. Elde edilen bulgular, hafif (lightweight) YOLO mimarilerinin yabancı ot tespitinde hem doğruluk hem de gerçek zamanlı tarımsal uygulamalar açısından sunduğu avantajları desteklemektedir.

Bu çalışmanın temel katkısı; dört güncel nesne tespit modelini aynı veri seti ve deneysel koşullar altında hem doğruluk hem de hesaplama maliyeti yönünden karşılaştırmasıdır. Bulgular, hassas tarımda model seçiminde doğruluk kriterlerinin yanı sıra eğitim süresi ve hesaplama gereksinimlerinin de göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.

Çalışmanın temel sınırlılığı, deneylerin yalnızca CornWeed veri setiyle ve temel eğitim stratejileriyle yürütülmüş olmasıdır; hiperparametre optimizasyonu veya model sıkıştırma yöntemleri incelenmemiştir. Gelecekte farklı veri kümeleri üzerinde çapraz doğrulama yapılması, yeni nesne tespit modellerinin kıyaslanması ve gerçek zamanlı tarımsal robotik sistemlerde saha testlerinin gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

6. SONUÇ

Bu çalışmada; mısır tarlalarında yabancı ot tespiti için YOLO11s, RT-DETR-L, Faster R-CNN ve RetinaNet modelleri CornWeed veri seti üzerinde doğruluk ve hesaplama maliyeti yönünden karşılaştırılmıştır. Bulgular; RT-DETR-L modelinin mAP@50 metriğinde en yüksek başarıya ulaştığını, YOLO11s'in ise mAP@50:95 metriğinde en iyi sonucu verdiğini göstermiştir. YOLO11s; düşük parametre sayısı, minimal hesaplama karmaşıklığı ve kısa eğitim süresiyle doğruluk-verimlilik dengesinde öne çıkmıştır. İki aşamalı Faster R-CNN ve geleneksel RetinaNet ise yüksek hesaplama maliyetlerine rağmen doğrulukta geride kalmıştır. Sonuçlar, hassas tarımda model seçiminde hesaplama verimliliğinin kritik önemini ve YOLO11s'in gerçek zamanlı uygulamalardaki gücünü kanıtlamaktadır. Gelecek çalışmalarda; farklı veri setlerinin analizi, sentetik veri artırma teknikleri ve güncel transformer tabanlı modellerin saha koşullarında testi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] P. Revilla *et al.*, “Traditional Foods From Maize (*Zea mays* L.) in Europe,” *Front. Nutr.*, vol. 8, p. 683399, 2021, doi: 10.3389/fnut.2021.683399.
- [2] S. Liu, Y. Jin, Z. Ruan, Z. Ma, R. Gao, and Z. Su, “Real-Time Detection of Seedling Maize Weeds in Sustainable Agriculture,” *Sustainability*, vol. 14, no. 22, p. 15088, Jan. 2022, doi: 10.3390/su142215088.
- [3] D. E. Kharismawati and T. Kazic, “Maize Seedling Detection Dataset (MSDD): A Curated High-Resolution RGB Dataset for Seedling Maize Detection and Benchmarking with YOLOv9, YOLO11, YOLOv12 and Faster-RCNN,” Sep. 18, 2025, *arXiv*: arXiv:2509.15181. doi: 10.48550/arXiv.2509.15181.
- [4] H. Jiang, C. Zhang, Y. Qiao, Z. Zhang, W. Zhang, and C. Song, “CNN feature based graph convolutional network for weed and crop recognition in smart farming,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 174, p. 105450, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105450.
- [5] X. Wu, S. Aravecchia, P. Lottes, C. Stachniss, and C. Pradalier, “Robotic weed control using automated weed and crop classification,” *J. Field Robot.*, vol. 37, no. 2, pp. 322–340, 2020, doi: 10.1002/rob.21938.
- [6] N. Iqbal, C. Manss, C. Scholz, D. König, M. Igelbrink, and A. Ruckelshausen, “AI-Based Maize and Weeds Detection on the Edge with CornWeed Dataset,” in *2023 18th Conference on Computer Science and Intelligence Systems (FedCSIS)*, Sep. 2023, pp. 577–584. doi: 10.15439/2023F2125.
- [7] L. Pan, H. Dongjian, Q. Yongliang, and Y. Chenghai, “An application of soft sets in weed identification,” St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2013. doi: 10.13031/aim.20131620222).
- [8] A. Ahmad, D. Saraswat, V. Aggarwal, A. Etienne, and B. Hancock, “Performance of deep learning models for classifying and detecting common weeds in corn and soybean production systems,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 184, p. 106081, May 2021, doi: 10.1016/j.compag.2021.106081.
- [9] M. Pérez-Ortiz, J. M. Peña, P. A. Gutiérrez, J. Torres-Sánchez, C. Hervás-Martínez, and F. López-Granados, “Selecting patterns and features for between- and within- crop-row weed mapping using UAV-imagery,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 47, pp. 85–94, Apr. 2016, doi: 10.1016/j.eswa.2015.10.043.
- [10] Y. Chen, L. Tian, and J. Zheng, “Development of weeding robot based on direct herbicide application method,” *Nongye Jixie Xuebao Transactions Chin. Soc. Agric. Mach.*, vol. 36, no. 10, pp. 91-93+129, Oct. 2005.
- [11] J. E. Hunter, T. W. Gannon, R. J. Richardson, F. H. Yelverton, and R. G. Leon, “Integration of remote-weed mapping and an autonomous spraying unmanned aerial vehicle for site-specific weed management,” 2019, doi: 10.1002/ps.5651.
- [12] E. Ş. Çolak and D. Işık, “Yabancı Otlar ile Mücadelede Güncel Yöntem: Robotikler,” *Turk. J. Weed Sci.*, vol. 24, no. 2, pp. 166–176, Dec. 2021.
- [13] X. Liu, Q. Sui, and Z. Chen, “Real time weed identification with enhanced mobilevit model for mobile devices,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, p. 27323, Jul. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-12036-0.
- [14] K. Yamamoto, W. Guo, Y. Yoshioka, and S. Ninomiya, “On Plant Detection of Intact Tomato Fruits Using Image Analysis and Machine Learning Methods,” *Sensors*, vol. 14, no. 7, pp. 12191–12206, Jul. 2014, doi: 10.3390/s140712191.
- [15] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, May 2015, doi: 10.1038/nature14539.

- [16] G. Peng, K. Wang, J. Ma, B. Cui, and D. Wang, “AGRI-YOLO: A Lightweight Model for Corn Weed Detection with Enhanced YOLO v11n,” *Agriculture*, vol. 15, no. 18, p. 1971, Jan. 2025, doi: 10.3390/agriculture15181971.
- [17] W. Sun *et al.*, “CSGD-YOLO: A Corn Seed Germination Status Detection Model Based on YOLOv8n,” *Agronomy*, vol. 15, no. 1, p. 128, Jan. 2025, doi: 10.3390/agronomy15010128.
- [18] C. T. San and V. Kakani, “Smart Precision Weeding in Agriculture Using 5IR Technologies,” *Electronics*, vol. 14, no. 13, p. 2517, Jan. 2025, doi: 10.3390/electronics14132517.
- [19] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,” presented at the Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016, pp. 779–788. Accessed: Jul. 22, 2026. [Online]. Available: https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/html/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.html
- [20] T.-Y. Lin, P. Goyal, R. Girshick, K. He, and P. Dollar, “Focal Loss for Dense Object Detection,” presented at the Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 2017, pp. 2980–2988. Accessed: Jul. 22, 2026. [Online]. Available: https://openaccess.thecvf.com/content_iccv_2017/html/Lin_Focal_Loss_for_ICCV_2017_paper.html
- [21] N. Carion, F. Massa, G. Synnaeve, N. Usunier, A. Kirillov, and S. Zagoruyko, “End-to-End Object Detection with Transformers,” in *Computer Vision – ECCV 2020*, A. Vedaldi, H. Bischof, T. Brox, and J.-M. Frahm, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 213–229. doi: 10.1007/978-3-030-58452-8_13.
- [22] J. Redmon and A. Farhadi, “YOLOv3: An Incremental Improvement,” Apr. 08, 2018, *arXiv*: arXiv:1804.02767. doi: 10.48550/arXiv.1804.02767.
- [23] J. Weyler, A. Milioto, T. Falck, J. Behley, and C. Stachniss, “Joint Plant Instance Detection and Leaf Count Estimation for In-Field Plant Phenotyping,” *IEEE Robot. Autom. Lett.*, vol. 6, no. 2, pp. 3599–3606, Apr. 2021, doi: 10.1109/LRA.2021.3060712.
- [24] P. Nagaraj *et al.*, “Deep learning and IoT-based framework for sesame plant identification and weed detection,” *Sci. Rep.*, vol. 16, no. 1, p. 22449, May 2026, doi: 10.1038/s41598-026-47961-1.
- [25] K. Hu, G. Coleman, S. Zeng, Z. Wang, and M. Walsh, “Graph weeds net: A graph-based deep learning method for weed recognition,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 174, p. 105520, Jul. 2020, doi: 10.1016/j.compag.2020.105520.
- [26] N. Teimouri, R. N. Jørgensen, and O. Green, “Novel Assessment of Region-Based CNNs for Detecting Monocot/Dicot Weeds in Dense Field Environments,” *Agronomy*, vol. 12, no. 5, p. 1167, May 2022, doi: 10.3390/agronomy12051167.
- [27] J. Zhuang *et al.*, “Evaluation of different deep convolutional neural networks for detection of broadleaf weed seedlings in wheat,” *Pest Manag. Sci.*, vol. 78, no. 2, pp. 521–529, 2022, doi: 10.1002/ps.6656.
- [28] “Weed-AI dataset: CornWeed.” Accessed: Jul. 22, 2026. [Online]. Available: <https://weed-ai.sydney.edu.au/datasets/aec20fe7-f607-4a4c-aca5-d0f19c7c755f>
- [29] H. Liu and M. Cocea, “Semi-random partitioning of data into training and test sets in granular computing context,” *Granul. Comput.*, vol. 2, no. 4, pp. 357–386, Dec. 2017, doi: 10.1007/s41066-017-0049-2.
- [30] H. Bichri, A. Chergui, and M. Hain, “Investigating the Impact of Train / Test Split Ratio on the Performance of Pre-Trained Models with Custom Datasets,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 15, no. 2, 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150235.

- [31] A. F. Rasheed and M. Zarkoosh, “YOLOv11 optimization for efficient resource utilization,” *J. Supercomput.*, vol. 81, no. 9, p. 1085, Jun. 2025, doi: 10.1007/s11227-025-07520-3.
- [32] F. H. Aljahani, “RT-DETR Edge Deployment: Real-Time Detection Transformer for Distracted Driving Detection,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 16, no. 10, p. 964, Oct. 2025, doi: 10.14569/ijacsa.2025.0161094.
- [33] Y. Zhao *et al.*, “DETRs Beat YOLOs on Real-time Object Detection,” in *2024 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Jun. 2024, pp. 16965–16974. doi: 10.1109/CVPR52733.2024.01605.
- [34] M. Maity, S. Banerjee, and S. Sinha Chaudhuri, “Faster R-CNN and YOLO based Vehicle detection: A Survey,” in *2021 5th International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Apr. 2021, pp. 1442–1447. doi: 10.1109/ICCMC51019.2021.9418274.
- [35] Y. Wang, C. Wang, H. Zhang, Y. Dong, and S. Wei, “Automatic Ship Detection Based on RetinaNet Using Multi-Resolution Gaofen-3 Imagery,” *Remote Sens.*, vol. 11, no. 5, p. 531, Jan. 2019, doi: 10.3390/rs11050531.
- [36] “Google Colab.” Accessed: Jul. 24, 2026. [Online]. Available: <https://colab.research.google.com/>
- [37] J. Gao, A. P. French, M. P. Pound, Y. He, T. P. Pridmore, and J. G. Pieters, “Deep convolutional neural networks for image-based *Convolvulus sepium* detection in sugar beet fields,” *Plant Methods*, vol. 16, no. 1, p. 29, Mar. 2020, doi: 10.1186/s13007-020-00570-z.
- [38] M. AYDIN, “Korunga (*Onobrychis* sp.) bitkisine ait dijital renkli fotoğraflar üzerinde görüntü işleme ve yapay zekâ yöntemleriyle optimum hasat zamanının tahmini,” Doktora Tezi, ADANA ALPARSLAN TÜRKEŞ BİLİM VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ, ADANA, 2026.

DİYABET TAHMİNİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ VE LIME TABANLI AÇIKLANABİLİR YAPAY ZEKÂ YAKLAŞIMI

Melek Selcan KAYMAKÇI

Giresun Ünivrsitesi ,

melekselcan00@gmail.com – 0009-0002-1487-4465

Dr., Nurdan YENİAY KOÇER

nurdanyeniay@gmail.com - 0000-0001-8263-1524

Doç. Dr., Hasan Hüseyin GÜL

Giresun Ünivrsitesi,

hasan.huseyin@giresun.edu.tr - 0000-0001-9905-8605

ÖZET

Diyabet, dünya genelinde milyonlarca insanı etkileyen ve erken tanı ile kontrol altına alınabilen önemli kronik hastalıklardan biridir. Hastalığın erken dönemde belirlenmesi, komplikasyonların önlenmesi ve yaşam kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda makine öğrenmesi yöntemleri, sağlık alanında hastalıkların erken teşhisi ve risk değerlendirmesi amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada, diyabet hastalığının tahmini için farklı makine öğrenmesi algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda Random Forest (RF), Lojistik Regresyon (LR), K-En Yakın Komşu (KNN), XGBoost ve SuperLearner yöntemleri kullanılmıştır. Modellerin performansları doğruluk (Accuracy), duyarlılık (Recall), kesinlik (Precision), F1 skoru ve özgüllük (Specificity) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek doğruluk oranı %85,12 ile SuperLearner algoritması tarafından elde edilmiştir. Ayrıca SuperLearner modeli F1 skoru (%82,59), kesinlik (%82,39) ve özgüllük (%96,41) değerleri bakımından da dengeli ve başarılı bir performans sergilemiştir. Buna karşılık, XGBoost modeli genel doğruluk açısından kabul edilebilir sonuçlar üretmesine rağmen duyarlılık ve F1 skoru bakımından diğer yöntemlerin gerisinde kalmıştır. Bunun yanında, geliştirilen modelin karar mekanizmasını yorumlayabilmek amacıyla Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemlerinden LIME analizi uygulanmıştır. LIME sonuçları, model tahminlerinde etkili olan değişkenlerin belirlenmesine olanak sağlamış ve modelin yorumlanabilirliğini artırmıştır. Elde edilen bulgular, makine öğrenmesi yöntemlerinin diyabet hastalığının erken tahmininde etkili ve uygulanabilir bir karar destek aracı olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Diyabet, Makine Öğrenmesi, SuperLearner, XGBoost, LIME.

1. GİRİŞ

Diyabet, pankreasın vücut için gereken miktarda insülini üretemediği veya üretilen insülinin etkin kullanılamadığı durumlarda ortaya çıkan, metabolizma bozuklukları ile karakterize kronik bir hastalıktır (Akturk ve Aydıralp, 2018; Rogon ve ark., 2017). Kronik hastalıklar arasında küresel bir sağlık sorunu olan diyabetin görülme sıklığı her geçen gün hızla artmaktadır (Şireci ve Karabulutlu, 2017; Topbaş ve ark., 2021). Normalde pankreas tarafından üretilen insülin hormonu, glukozun hücrelere girerek enerji olarak kullanılmasını sağlar. Diyabette ise:

- Vücut yeterli miktarda insülin üretemez (Tip 1 diyabet),
- Ya da üretilen insülin etkili şekilde kullanılamaz (Tip 2 diyabet).

Tip 2 diyabet en sık görülen diyabet tipi olmakla birlikte tüm diyabet olgularının %87'den fazlasını oluşturmaktadır (Kumsar ve ark., 2019; Şahin ve Birgili, 2019). Türkiye'de ve dünyada görülme sıklığının hızla artması, sakat bırakma ve ölüm oranının yüksek olması nedeniyle tip 2 diyabet önemli bir sağlık sorunu olarak nitelendirilmekte (Kumsar ve ark., 2019; Tekir ve ark., 2021) ve dünya çapındaki diyabet hastası sayısının küresel olarak artmaya devam edeceği öngörülmektedir (Öcal ve Önsöz 2018; Tekir ve ark., 2021).

Diyabet etkili bir şekilde tedavi edilemez ve semptom kontrolü sağlanamazsa farklı kronik hastalıklara ve ölüme yol açabilmektedir (Topbaş ve ark., 2021). Diyabetin en belirgin semptomları arasında; sık idrara çıkma, aşırı susama, açlık hissinin artması, yorgunluk, kilo kaybı, bulanık görme ve yaraların geç iyileşmesi sayılabilir. Diyabetin risk faktörleri arasında diyabet yönünden aile öyküsünün olması, fazla kilolu olma, sağlıksız beslenme, fiziksel aktivite azlığı, ileri yaş, yüksek kan basıncı, bozulmuş glukoz toleransı tanımlanabilir.

Diyabetin klinik tanısı, açlık plazma glukozu (FPG), oral glukoz tolerans testi (OGTT) veya HbA1C gibi standart tanısal kan testleri ile yapılır. Bu testlerin tümü, kan örnekleri toplamak ve kan şekeri seviyelerinin normal olup olmadığını kontrol etmek için hastadan kan alınmasını gerektirir. Bir hasta diyabetik olduğunda, komplikasyonlardan uzak, istikrarlı bir sağlık durumunu korumak için düzenli olarak kan şekeri takibine ihtiyaç duyar. Bu, hekim tarafından önerilen düzenli zaman aralıklarında invaziv kan testlerinden geçmek anlamına gelir. Hastaların kendi başlarına kan şekeri ölçümü yapmaları için birçok invaziv olmayan veya minimal invaziv tıbbi kit mevcut ve popüler olmasına rağmen, şerit veya cihaz şeklinde, bu kitlerin her ekonomik kesimdeki insanlar için erişilebilirliği henüz kesinleşmemiştir ve hastaların daha fazla tedavi veya konsültasyon için hekime başvurması gerekmektedir (Pei vd. 2019). Kısacası bu yöntemler zaman alıcı olabilmekte, maliyeti yüksek olabilmekte ve bazı durumlarda hastalığın erken evrelerinde yeterli duyarlılığı sağlayamamaktadır.

Son yıllarda, makine öğrenmesi (Machine Learning- ML) algoritmaları, birçok hastalığın tanı belirlenmesinde olduğu gibi diyabetin erken teşhisi, risk değerlendirmesi, glisemik kontrolün izlenmesi ve komplikasyonların öngörülmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle RF,

Destek Vektör Makineleri (Support vector machine- SVM), Yapay Sinir Ağları, XGBoost ve derin öğrenme tabanlı modeller yüksek doğruluk oranlarıyla diyabet tahmininde başarılı sonuçlar göstermiştir.

Bu kapsamda, son yıllarda diyabetin tahminine yönelik farklı ML yöntemlerinin kullanıldığı birçok çalışma mevcuttur. Xie ve ark. (2019), yapay sinir ağı, lojistik regresyon (LR), karar ağacı, destek vektör makinesi, RF ve Gauss Naive Bayes dahil olmak üzere farklı ML modellerini diyabet tanı tahmini için uygulamıştır. Risk analizi, bireysel risk faktörlerinin tip 2 diyabet sonucuyla ilişkisini belirlemek için tek değişkenli ve çok değişkenli ağırlıklı LR ile gerçekleştirilmiştir. Boutilier ve ark. (2021), kısa vadeli 2 aylık aralıklarla yüksek riskli bireylerin erken tanı tahmini için ML’de dayalı diyabet ve hipertansiyon risk sınıflandırmasını sunmuştur. Karar ağaçları, düzenlenmiş LR , k-En Yakın Komşular (kNN), RF ve AdaBoost algoritmalarını kullanmışlardır. Tuppada ve Patil (2022), diyabet teşhisinde kullanılan ML yöntemlerini incelemiş ve RF ile SVM algoritmalarının birçok çalışmada yüksek doğruluk oranlarına ulaştığını bildirmiştir. Araştırmacılar, ML modellerinin geleneksel risk değerlendirme yöntemlerine kıyasla daha hızlı ve etkili sonuçlar sağlayabileceğini belirtmiştir. Afsaneh ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan kapsamlı derleme çalışmasında, diyabetin tanı ve yönetiminde kullanılan ML ve derin öğrenme yöntemleri değerlendirilmiştir. Çalışmada özellikle derin öğrenme modellerinin büyük veri kümelerinde yüksek performans gösterdiği vurgulanmıştır. Nguyen ve Zhang (2025) yaşam tarzı faktörlerini kullanarak diyabet tahmini gerçekleştirmiş ve RF ile Karar Ağacı modellerinin geleneksel istatistiksel yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Khan ve arkadaşları (2024) genetik biyobelirteçler ile ML algoritmalarını birleştirerek diyabet risk tahmini üzerine yaptıkları sistematik derlemede, yapay zekâ destekli yaklaşımların kişiselleştirilmiş tıp uygulamalarına önemli katkılar sağlayabileceğini ifade etmiştir.

Bu çalışmada, diyabet hastalığının erken tahminine yönelik farklı ML algoritmalarının performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda RF, LR, K-En Yakın Komşu ve XGBoost gibi yaygın olarak kullanılan yöntemlerin yanı sıra, topluluk öğrenmesi yaklaşımı olan SuperLearner algoritması da analize dâhil edilmiştir. Modellerin performansları doğruluk, duyarlılık, kesinlik, F1 skoru ve özgüllük gibi farklı değerlendirme ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca, en başarılı modelin karar verme mekanizmasının şeffaf ve anlaşılabilir hale getirilmesi amacıyla Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemlerinden Local Interpretable Model-Agnostic Explanations (LIME) analizi uygulanmış ve tahminlerde etkili olan değişkenlerin katkıları ortaya konulmuştur. Böylece, yalnızca yüksek tahmin başarısı elde edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçların, diyabetin erken tanısına yönelik güvenilir ve açıklanabilir karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Ön İşlemler

Ham	veriler	Uci	Machine	Learning:
https://archive.ics.uci.edu/dataset/891/cdc+diabets+health+indicators			sayfasından	elde

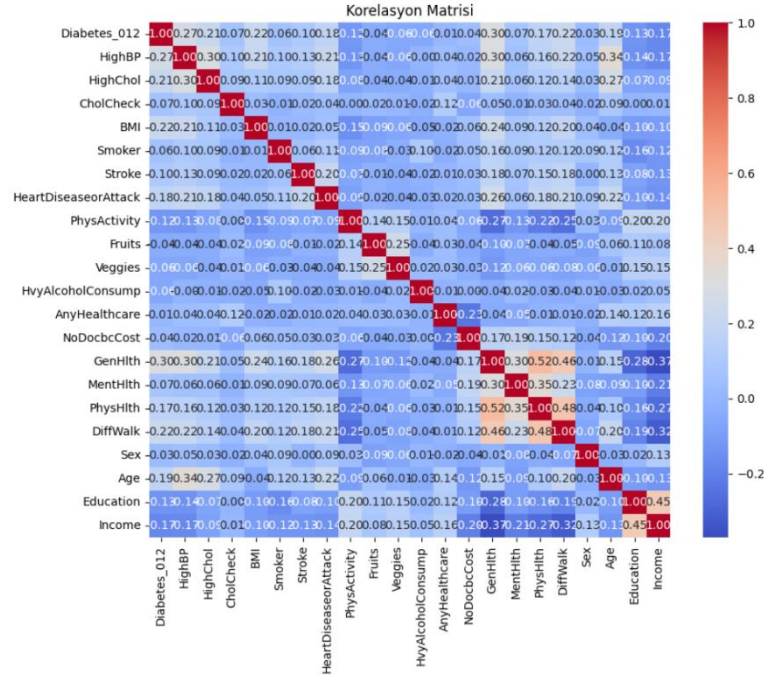
edilmiştir (Burrows (2017)). Orijinal veri seti 253.680 gözlem ve 21 değişkenden oluşmaktadır. Bu çalışmada, diyabet durumunu temsil eden bir hedef değişken ile bireylerin demografik özellikleri, yaşam tarzı alışkanlıkları ve sağlık durumlarını yansıtan 20 bağımsız değişken analizlerde kullanılmıştır. Seçilen değişkenlerin diyabet tahminine yönelik önceki ML çalışmalarında yaygın olarak kullanıldığı ve hastalığın öngörülmesinde önemli belirleyiciler arasında yer aldığı görülmektedir. Çalışmada kullanılan değişkenlere ilişkin ayrıntılı açıklamalar Çizelge 1'de sunulmuştur.

Çizelge 1. Değişkenler ve etiketleri.

Değişken	Açıklama	Çıktılar
#es_binary	Diyabet durumu (Hedef değişken)	0 = Diyabet yok, 1 = Prediyabet veya diyabet
#HighBP	Yüksek tansiyon durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#HighChol	Yüksek kolesterol durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#CholCheck	Son 5 yıl içinde kolesterol ölçümü yaptırma durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#BMI	Vücut Kitle İndeksi (VKİ)	Sayısal değer (kg/m ²)
#Smoker	Yaşam boyunca en az 100 sigara içme durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#Stroke	Daha önce inme (felç) geçirme durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#HeartDiseaseorAttack	Koroner kalp hastalığı veya miyokard enfarktüsü öyküsü	0 = Hayır, 1 = Evet
#PhysActivity	Son 30 gün içinde düzenli fiziksel aktivite yapma durumu (iş aktiviteleri hariç)	0 = Hayır, 1 = Evet
#Fruits	Günlük meyve tüketimi	0 = Günde 1 porsiyondan az, 1 = Günde en az 1 porsiyon
#Veggies	Günlük sebze tüketimi	0 = Günde 1 porsiyondan az, 1 = Günde en az 1 porsiyon
#HvyAlcoholConsump	Aşırı alkol tüketimi durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#AnyHealthcare	Herhangi bir sağlık güvencesine sahip olma durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#NoDocbcCost	Maddi nedenlerle doktora gidememe durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#GenHlth	Bireyin genel sağlık durumunu değerlendirmesi	1 = Mükemmel, 2 = Çok iyi, 3 = İyi, 4 = Orta, 5 = Kötü
#MentHlth	Son 30 günde ruhsal sağlığın iyi olmadığı gün sayısı	0–30 gün
#PhysHlth	Son 30 günde fiziksel sağlığın iyi olmadığı gün sayısı	0–30 gün

#DiffWalk	Yürüme veya merdiven çıkamada ciddi güçlük yaşama durumu	0 = Hayır, 1 = Evet
#Sex	Cinsiyet	0 = Kadın, 1 = Erkek
#Age	Yaş grubu	1 = 18–24, 2 = 25–29, 3 = 30–34, 4 = 35–39, 5 = 40–44, 6 = 45–49, 7 = 50–54, 8 = 55–59, 9 = 60–64, 10 = 65–69, 11 = 70–74, 12 = 75–79, 13 = 80 ve üzeri
#Education	Eğitim düzeyi	1 = Hiç eğitim almamış/anaokulu, 2 = İlkokul, 3 = Ortaokul, 4 = Lise, 5 = Üniversite (1–3 yıl), 6 = Üniversite mezunu
#Income	Yıllık hane geliri	1 = <10.000 \$, 2 = 10.000–14.999 \$, 3 = 15.000–19.999 \$, 4 = 20.000–24.999 \$, 5 = 25.000–34.999 \$, 6 = 35.000–49.999 \$, 7 = 50.000–74.999 \$, 8 = ≥75.000 \$

Bu çalışmada veri ön işleme aşamasında öncelikle veri seti eksik değerler açısından incelenmiş ve eksik gözlem bulunmadığı belirlenmiştir. Daha sonra değişkenler arasındaki doğrusal ilişkileri değerlendirmek amacıyla korelasyon analizi gerçekleştirilmiştir. ML algoritmalarının farklı ölçeklerdeki değişkenlerden eşit düzeyde etkilenmesini sağlamak ve model performansını artırmak amacıyla sayısal değişkenlere Z-skoru standardizasyonu uygulanmıştır. Elde edilen ön işlenmiş veri seti, sınıflandırma modellerinin oluşturulması ve performanslarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Görsel 1’de bu değişkenler arasında oluşturulmuş korelasyon matrisi verilmiştir. Bu korelasyon matrisi incelendiğinde değişkenler arasında genel olarak düşük ve orta düzeyde korelasyonlar bulunduğu, yüksek düzeyde doğrusal bir ilişkiye sahip değişkenlerin bulunmadığı görülmektedir.



Görsel 1. Korelasyon Matrisi.

2.2. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Bu çalışmada, diyabet hastalığının tahmin edilmesi amacıyla farklı ML algoritmaları kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda literatürde yaygın olarak kullanılan RF, LR, KNN ve XGBoost algoritmalarının yanı sıra topluluk öğrenme yaklaşımına dayanan SuperLearner yöntemi de analize dahil edilmiştir.

RF, çok sayıda karar ağacının bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve özellikle sınıflandırma problemlerinde yüksek doğruluk sağlayan güçlü bir topluluk öğrenme yöntemidir. Rastgele örnekleme ve değişken seçimi mekanizmaları sayesinde aşırı uyum (overfitting) riskini azaltmakta ve genellenebilirliği artırmaktadır. LR, ikili sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bağımsız değişkenler ile sonuç değişkeni arasındaki ilişkiyi logit fonksiyonu aracılığıyla modelleyerek gözlemlerin belirli bir sınıfa ait olma olasılıklarını tahmin etmektedir. Özellikle yorumlanabilir yapısı nedeniyle sağlık alanındaki çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir. KNN algoritması, gözlemler arasındaki benzerlikleri temel alan örnek tabanlı bir öğrenme yöntemidir. Yeni bir gözlemin sınıfı, eğitim veri setindeki en yakın komşuların sınıflarına göre belirlenmektedir. Algoritmanın temel avantajı basit ve sezgisel bir yapıya sahip olmasıdır. XGBoost (Extreme Gradient Boosting), karar ağaçlarına dayalı gradyan artırma yaklaşımını kullanan gelişmiş bir topluluk öğrenme algoritmasıdır. Zayıf öğrencileri ardışık olarak eğiterek model hatalarını azaltmayı amaçlamakta ve özellikle büyük veri setlerinde yüksek performans göstermektedir. Düzenleştirme mekanizmaları sayesinde aşırı uyumu kontrol altına alabilmekte ve daha kararlı sonuçlar üretebilmektedir.

Bu çalışmanın önemli katkılarından biri, farklı temel öğrencilerin güçlü yönlerini bir araya getiren SuperLearner algoritmasının diyabet veri seti üzerinde uygulanmasıdır. SuperLearner,

birden fazla ML yönteminin çıktısını ağırlıklı olarak birleştiren topluluk öğrenme tabanlı bir yaklaşımdır. Bu yöntem, her bir algoritmanın avantajlarından yararlanarak daha yüksek doğruluk ve daha güçlü genellenebilirlik sağlamayı amaçlamaktadır. Özellikle sağlık verileri gibi karmaşık ve çok boyutlu veri yapılarında başarılı sonuçlar verebilmektedir. Tüm modeller aynı veri seti üzerinde eğitilmiş ve performansları doğruluk (Accuracy), duyarlılık (Recall), kesinlik (Precision), F1 skoru ve özgüllük (Specificity) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Böylece farklı ML yöntemlerinin diyabet hastalığının tahminindeki başarıları objektif ve karşılaştırılabilir bir şekilde analiz edilmiştir.

2.3. LIME

LIME, ML modellerinin tahminlerini yerel düzeyde (tek bir gözlem üzerinde) açıklamak amacıyla geliştirilen modelden bağımsız bir yorumlanabilirlik yöntemidir. Bu yaklaşım, kompleks bir ML modelin belirli bir gözlem için verdiği tahmini, o gözlemin çevresinde oluşturulan daha basit ve yorumlanabilir bir model aracılığıyla açıklamaktadır. Bu sayede her bir değişkenin ilgili tahmine ne ölçüde katkı sağladığı ortaya konulabilmekte ve model kararlarının daha anlaşılır hale gelmesi sağlanmaktadır. Özellikle bireysel tahminlerin yorumlanması ve model davranışının açıklanması açısından yaygın olarak kullanılmaktadır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Diyabet, günümüzde farklı yaş gruplarındaki bireyler için önemli bir sağlık sorunu olmaya devam etmektedir. Bu nedenle hastalığın erken dönemde belirlenmesi, tedavi başarısını artırmak açısından büyük önem taşımaktadır. ML yöntemlerinin gelişmesi ve daha geniş veri setleriyle uygulanması, diyabetin düşük maliyetle ve yüksek doğrulukla erken tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır.

Diyabet veri seti için kullanılan yöntemler arasında, ML yöntemlerinden RF, LR, KNN, SuperLearner ve XGBoost kullanılmıştır. Ele alınan yöntemlerin performansları; doğruluk (Accuracy), duyarlılık (Recall), kesinlik (Precision), F1 skoru ve özgüllük (Specificity) gibi yaygın olarak kullanılan sınıflandırma ölçütleri aracılığıyla analiz edilmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 2’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

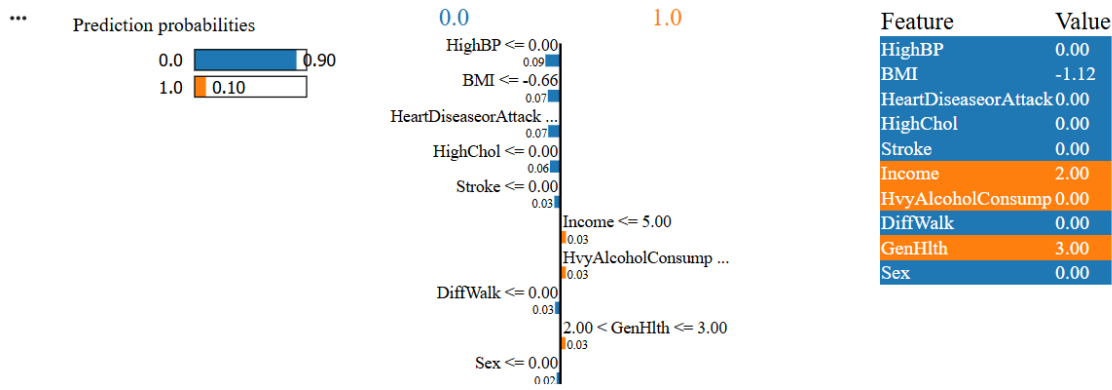
Çizelge 2. Diyabet veri seti için performans çıktıları.

Metot	Accuracy	Recall	F1 skor	Precision	Specificity
RF	0,8359	0,8359	0,8196	0,8116	0,9380
LR	0,8493	0,8493	0,8168	0,8173	0,9716
KNN	0,8411	0,8411	0,8119	0,8055	0,9605
SuperLearner	0,8512	0,8512	0,8259	0,8239	0,9641
XGBoost	0,8375	0,4124	0,4433	0,4792	0,9168

Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek doğruluk değerinin %85,12 ile Super Learner modelinde elde edildiği görülmektedir. Super Learner modeli aynı zamanda %82,59 F1 skoru, %82,39 kesinlik ve %96,41 özgüllük değerleri ile genel olarak dengeli bir performans sergilemiştir. Doğruluk bakımından Super Learner modelini sırasıyla LR (%84,93), KNN (%84,11),

XGBoost (%83,75) ve RF (%83,59) modelleri takip etmiştir. LR modeli %97,16 ile en yüksek özgüllük değerine ulaşmış olup, negatif sınıfa ait bireyleri doğru sınıflandırmada en başarılı yöntem olarak öne çıkmıştır.

Buna karşılık XGBoost modeli %83,75 doğruluk oranına sahip olmasına rağmen %41,24 duyarlılık, %44,33 F1 skoru ve %47,92 kesinlik değerleri ile diğer yöntemlerin oldukça gerisinde kalmıştır. Bu durum, modelin genel doğruluk açısından kabul edilebilir sonuçlar üretmesine rağmen pozitif sınıfa ait bireyleri belirlemede yetersiz kaldığını göstermektedir. Özellikle duyarlılık değerinin düşük olması, pozitif sınıfa ait çok sayıda gözlemin yanlış sınıflandırıldığını düşündürmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Super Learner modeli tüm performans ölçütleri açısından daha dengeli sonuçlar sunarken, LR modeli yüksek özgüllük değeri ile dikkat çekmiştir. Buna karşın XGBoost modeli bu veri setinde beklenen performansı gösterememiş ve özellikle pozitif sınıfın belirlenmesinde diğer yöntemlere göre daha düşük başarı elde etmiştir. Ayrıca, geliştirilen modelin tahminlerinin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla LIME analizi uygulanmış olup, elde edilen sonuçlar Görsel 2'de sunulmuştur.



Görsel 1. Diyabet veri seti için LIME tablosu.

Şekil 2'de LIME analizi sonucunda seçilen ilk hasta için model tahmininin açıklaması verilmiştir. Model, ilgili bireyin 0 (hasta değil) sınıfına ait olma olasılığını %90, 1 (hasta) sınıfına ait olma olasılığını ise %10 olarak tahmin etmiştir. LIME sonuçlarına göre düşük BMI değeri, hipertansiyon öyküsünün bulunmaması (HighBP=0), kalp hastalığı veya kalp krizi öyküsünün olmaması (HeartDiseaseorAttack=0), yüksek kolesterol bulunmaması (HighChol=0) ve inme öyküsünün olmaması (Stroke=0) modelin hasta değil sınıfı yönündeki kararını destekleyen başlıca değişkenler olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gelir düzeyi (Income), genel sağlık durumu (GenHlth) ve alkol tüketimi değişkenleri hasta sınıfı yönünde etkilemiştir, ancak bu katkılar kararı değiştirecek düzeyde etkili olmamıştır. Elde edilen bulgular, model tahminlerinin hangi değişkenlerden etkilendiğini açık bir şekilde ortaya koymuş ve karar mekanizmasının yorumlanabilirliğini artırmıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, diyabet tahmininde RF, LR, KNN, Super Learner ve XGBoost yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Super Learner, %85,12 Accuracy,

%85,12 Recall, %82,59 F1 skoru ve %82,39 Precision değerleriyle genel olarak en dengeli ve başarılı model olmuştur. Ancak LR modeli %97,16 ile en yüksek Specificity değerini elde etmiştir. Bu sonuçlar, diyabet tahmininde yalnızca Accuracy değerinin değil, farklı performans ölçütlerinin birlikte değerlendirilmesinin önemini göstermektedir.

LIME analizi ise model tahminlerinin hangi değişkenlerden etkilendiğini ortaya koyarak geliştirilen modellerin yorumlanabilirliğine katkı sağlamıştır. Elde edilen bulgular makine öğrenmesi yöntemlerinin diyabetin erken tahmininde kullanılabilecek etkili yaklaşımlar olduğunu göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda, daha büyük popülasyonlardan elde edilen veri setleri kullanılarak modellerin dış doğrulamasının yapılması, hiperparametre ayarları ve farklı özellik seçimi yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir. Ayrıca SHAP gibi farklı açıklanabilir yapay zekâ yöntemleri kullanılarak model kararlarının incelenmesi ve klinik karar destek sistemlerine yönelik daha güvenilir modeller geliştirilmesi planlanabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Akturk U, Aydinalp E. (2018). Examining the correlation between the acceptance of the disease and the diabetes self-efficacy of the diabetic patients in a family health center. *Annals of Medical Research*, 25(3), 359-364.
- [2] Rogon I, Kasprzak Z, Szcześniak Ł. (2017). Perceived quality of life and acceptance of illness in people with type 2 diabetes mellitus. *Menopause Review/Przegląd Menopozalny*, 16(3), 79-85.
- [3] Şireci E, Karabulutlu EY. (2017). Tip 2 diabetes mellituslu hastaların hastalıklarını kabullenme ve kendi bakımlarındaki öz yeterlilik düzeylerinin belirlenmesi. *Anadolu Hemşirelik ve Sağlık Bilimleri Dergisi*, 20(1), 48-55.
- [4] Topbaş E, Bingöl G, Çeler Ö, Ergöktaş E, Şahin C, Erkul M ve ark. (2021). Investigation of type 2 diabetes risk, its symptoms and knowledge levels in society. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Elektronik Dergisi*, 14(4), 348-356.
- [5] Kumsar AK, Yılmaz FT, Gündoğdu S. (2019). Tip 2 diyabetli bireylerde algılanan semptom düzeyi ile HbA1c ilişkisi. *Çukurova Medical Journal*, 44(1), 61-68.
- [6] Şahin N, Birgili F. (2019). Control of diabetes symptoms in patients with type 2 diabetes mellitus. *International Anatolia Academic Online Journal Health Sciences*, 5(2), 66-85.
- [7] Tekir O, Çevik C, Kaymak GÖ, Kaya A. (2021). The effect of diabetes symptoms on quality of life in individuals with type 2 diabetes. *Endocrinologica (Bucharest)*, 17(2), 186-193.

- [8] Öcal EE, Önsüz MF. (2018). Diyabet hastalığının ekonomik yükü. Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi Halk Sağlığı Dergisi, 3(1), 24-31.
- [9] Tuppad, A., & Patil, S. D. (2022). *Machine learning for diabetes clinical decision support: a review*. Discover Artificial Intelligence, 2(22).
- [10] Afsaneh, E., Sharifdini, A., Ghazzaghi, H., & Zarei Ghobadi, M. (2022). *Recent applications of machine learning and deep learning models in the prediction, diagnosis, and management of diabetes: A comprehensive review*. Diabetology & Metabolic Syndrome, 14(196).
- [11] Khan, S., Mohsen, F., & Shah, Z. (2024). *Genetic biomarkers and machine learning techniques for predicting diabetes: Systematic review*. Artificial Intelligence Review.
- [12] Nguyen, T., & Zhang, Y. (2025). A comparative study of diabetes prediction based on lifestyle factors using machine learning. *arXiv Preprint*.
- [13] Weatherall, J., et al. (2024). The impact of machine learning on the prediction of diabetic foot ulcers: A systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*.
- [14] Xie Z, Nikolayeva O, Luo J, Li D (2019) Building risk prediction models for type 2 diabetes using machine learning techniques. Prev Chronic Dis. <https://doi.org/10.5888/pcd16.190109>.
- [15] Pei D, Gong Y, Kang H, Zhang C, Guo Q (2019) Accurate and rapid screening model for potential diabetes mellitus. BMC Med Inform Decis Mak. <https://doi.org/10.1186/s12911-019-0790-3>.
- [16] Boutilier JJ, Chan TCY, Ranjan M, Deo S (2021) Risk Stratification for early detection of diabetes and hypertension in resource-limited settings: machine learning analysis. J Medi Int Res. <https://doi.org/10.2196/20123>
- [17] Burrows, N. R. (2017). Incidence of end-stage renal disease attributed to diabetes among persons with diagnosed diabetes—United States and Puerto Rico, 2000–2014. MMWR. Morbidity and mortality weekly report, 66.
- [18] <https://archive.ics.uci.edu/dataset/891/cdc+diabets+health+indicators> (Erişim tarihi:)

SAFRA TAŞI HASTALIĞININ ERKEN TAHMİNİ İÇİN MAKİNE ÖĞRENMESİ YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: KAN VE SUPERLEARNER YAKLAŞIMLARI

Melek Selcan KAYMAKÇI

Giresun Ünivrsitesi,

melekselcan00@gmail.com – 0009-0002-1487-4465

Dr., Nurdan YENİAY KOÇER

nurdanyeniay@gmail.com - 0000-0001-8263-1524

Doç. Dr., Hasan Hüseyin GÜL

Giresun Ünivrsitesi,

hasan.huseyin@giresun.edu.tr - 0000-0001-9905-8605

ÖZET

Safra taşı hastalığı, dünya genelinde yaygın olarak görülen ve erken tanı gerektiren önemli sağlık sorunlarından biridir. Son yıllarda, tıbbi verilerin artmasıyla birlikte hastalıkların erken teşhisi ve risk analizi için makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle biyoimpedans ve laboratuvar verileri gibi çok boyutlu verilerin analizinde bu yöntemler önemli avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, biyoimpedans ölçümleri ve laboratuvar verilerinden oluşan bir veri seti kullanılarak safra taşı varlığının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Literatürde yer alan geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerine ek olarak Kolmogorov-Arnold Ağları (KAN) ve SuperLearner algoritmaları da modele dahil edilerek karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Modellerin performansı doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve F1 skoru gibi çeşitli ölçütler kullanılarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, önerilen yöntemlerin özellikle sınıflandırma başarısı açısından mevcut yöntemlere kıyasla rekabetçi sonuçlar sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, model sonuçlarının yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla açıklanabilir yapay zekâ (XAI) tekniklerinden SHAP kullanılmıştır. Bu sayede model tahminlerinde etkili olan değişkenler belirlenerek elde edilen sonuçların daha açık ve anlaşılabilir şekilde yorumlanması sağlanmıştır. Elde edilen bulgular, makine öğrenmesi yöntemlerinin safra taşı hastalığının erken tahmininde etkili ve uygulanabilir bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Makine Öğrenmesi, Kolmogorov-Arnold Ağları, SuperLearner, Safra taşı hastalığı.

1. GİRİŞ

Safra taşı hastalığı (gallstone disease- GD), dünya genelinde yaygın olarak görülen ve gastrointestinal sistemin önemli sağlık sorunlarından biri olarak kabul edilen bir hastalıktır. Safra taşına sebep olan faktörler fazla kilo, hormonal faktörler, cinsiyet, yaş ve genetik yatkınlık olarak sıralanabilir. Günümüzde safra taşı tanısında ultrasonografi başta olmak üzere bilgisayarlı tomografi (BT) ve manyetik rezonans görüntüleme (MRG) gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemler maliyet, erişilebilirlik ve bazı durumlarda duyarlılık açısından sınırlılıklar içerebilmektedir. Ayrıca asemptomatik bireylerde erken risk belirleme açısından yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle erken tanı ve risk değerlendirmesinde alternatif yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Makine öğrenmesi (machine learning- ML), büyük veri setlerinden anlamlı örüntüler çıkarabilme yeteneği sayesinde son yıllarda tıp alanında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Tanı, prognoz tahmini ve klinik karar destek sistemlerinin geliştirilmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Özellikle laboratuvar verileri ve biyofiziksel ölçümler gibi çok boyutlu verilerin birlikte değerlendirilmesi, geleneksel istatistiksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğrulukta tahminler yapılmasına olanak tanımaktadır (Esteva et al., 2019). Esen et al. (2024) çalışmalarında biyoelektrik empedans ve laboratuvar verilerini kullanarak safra taşı hastalığı için ML'ye dayalı bir tahmin modeli önermektedir. Grampurohit ve Sagarnal (2020) çalışmalarında hastalık teşhisi amacıyla Decision Tree (DT), Random Forest (RF) ve naive bayes algoritmaları kullanmışlardır. Nguyen et al. (2022) iltihaplı bağırsak hastalıklarında (IBD) klinik verileri kullanan, ML ile geleneksel istatistiksel modelleri karşılaştıran çalışmayı sunmuşlardır. Mohan et al. (2019) kalp hastalığının teşhisinde geleneksel ML tekniklerini kullanmışlardır. Ayrıca Singh ve Kumar (2020) kalp hastalığı teşhisinde ML algoritmalarından k-en yakın komşuluk (KNN), DT, doğrusal regresyon ve destek vektör makinesi (SVM) algoritmalarını Python programı kullanarak ele almışlardır. Chandrasekhar ve Peddakrishna (2023) kalp hastalığı tahmininin doğruluğunu artırmayı amaçlayarak RF, KNN, Lojistik Regresyon (LR), Naive Bayes, gradyan artırma ve AdaBoost sınıflandırıcı algoritmaları ile çalışmışlardır.

Bununla birlikte sadece hastalık tanısı değil tıbbın farklı alanlarında da ML uygulamalarına ilişkin çalışmalar yapılmıştır. Örneğin Shebab et al. (2022) tıp alanında ML kullanımına ilişkin kapsamlı bir inceleme sunarak standart teknolojileri ve bunların tıbbi tanıyı nasıl etkilediğini vurgulamaktadır. Kanser, tıbbi kimya, beyin, tıbbi görüntüleme ve giyilebilir sensörlerdeki sorunları çözmek için ML modellerinin uyarlanmasına odaklanarak beş önemli tıbbi uygulama derinlemesine ele alınmıştır. Ayrıca Lomoio et al. (2025) hastalık tahmininde yeni bir yaklaşım öne süren Kolmogorov-Arnold ağına (KAN) dayalı yeni bir hastalık tahmin modeli önermektedir. Önerilen algoritma modelin şeffaflığını ve güvenilirliğini artıran yeni bir sinir ağı mimarisine dayanmaktadır. Bunun yanında Sen ve Mitra (2025) Kalp ve Damar

Hastalıklarının sınıflandırmak için KAN kullanmıştır. Yöntem, yaklaşık %99 doğrulukla iyi performans göstermektedir. Zhu et al. (2024) çalışmalarında 2018-2021 yılları arasında miyokard enfarktüsü hastalarına ait verileri, özellikle perkütan koroner girişim uygulanan hastalara odaklanarak, retrospektif, müdahalesiz bir analizle inceledikten sonra ameliyat sonrası 1 yıl içinde meydana gelen majör kardiyovasküler olayların görülme sıklığı ile ilgilenmişlerdir. Tahmin modelleri SuperLearner algoritması kullanılarak geliştirilmiştir. Ek olarak Torquati et al. (2022) bariatrik cerrahi sonrası 30 gün içinde yeniden hastaneye yatış oranını tahmin eden bir tahmin modelini SuperLearner ve geleneksel LR modellerini karşılaştırarak vermişlerdir.

Bu çalışmada, biyoimpedans ölçümleri ve laboratuvar verilerinden oluşan bir veri seti kullanılarak safra taşı hastalığının erken tahminine yönelik farklı ML yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Literatürde yaygın olarak kullanılan LR, DT, RF, Destek Vektör Makineleri (SVM), k-En Yakın Komşular (KNN), XGBoost ve Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) gibi algoritmaların yanı sıra, Kolmogorov-Arnold Ağları (KAN) ve SuperLearner modeli de analize dâhil edilmiştir. Modellerin performansları doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve F1 skoru gibi farklı değerlendirme ölçütleri kullanılmıştır. Ayrıca, geliştirilen modellerin karar mekanizmalarının yorumlanabilmesi amacıyla SHapley Additive exPlanations (SHAP) tabanlı açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımı uygulanmış ve tahminlerde etkili olan değişkenlerin önem dereceleri ortaya konulmuştur. Elde edilen bulguların, safra taşı hastalığının erken tanısında ML tabanlı karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayacağı ve özellikle KAN ile SuperLearner algoritmalarının bu alandaki etkinliğine ilişkin literatüre yeni bulgular sunacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Ön İşlemleri

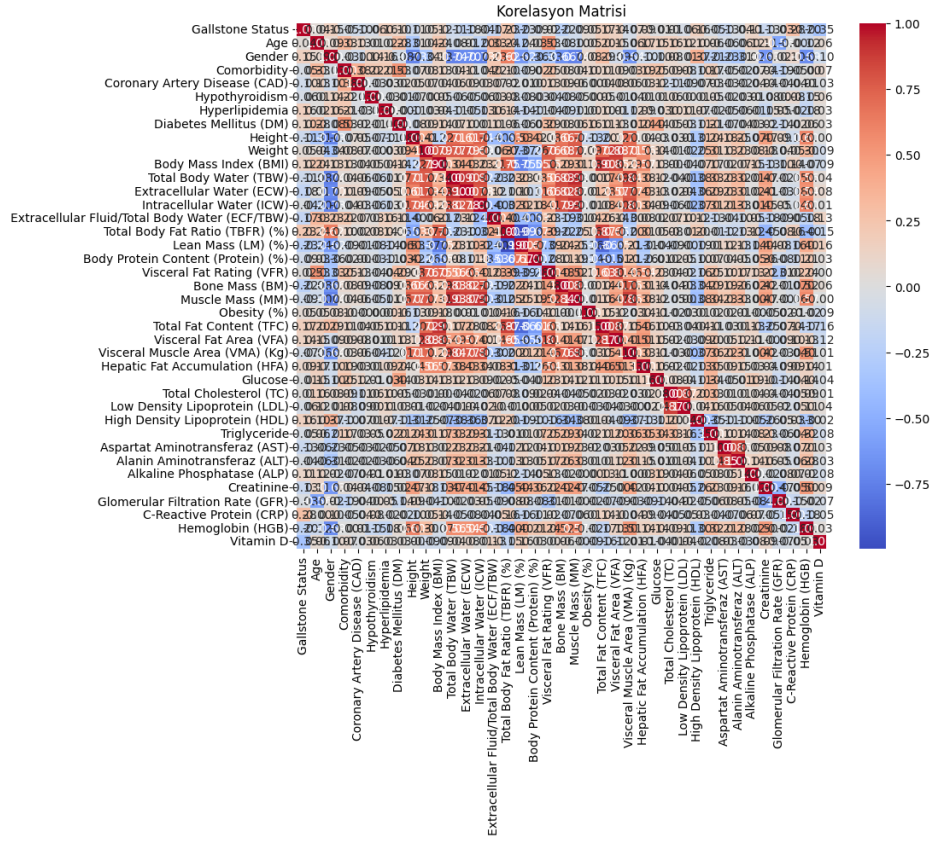
Ham veri seti, UCI Machine Learning Repository'de yayımlanan Gallstone veri setinden elde edilmiştir: <https://archive.ics.uci.edu/dataset/1150/gallstone-1>. Bu çalışmada safra taşı hastalığının ML ile belirlenmesinde Esen et al. (2024) tarafından kullanılan algoritmaların yanı sıra SuperLearner, XGBoost ve KAN kullanılmıştır. Bu veri seti, 161 safra taşı hastası ve 158 sağlıklı kontrol grubundan oluşan 319 örnekten oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Veri seti, katılımcıların yaş, kilo, boy, kan testi sonuçları ve biyoelektrik empedans verileri de dahil olmak üzere 38 özelliğini içermektedir. Ancak Varyans Analizi tekniği kullanılarak elde edilen özellikler ve F değerleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Çizelge 1 incelendiğinde, D vitamini en yüksek F-puanını (23.42) olarak elde edilmiştir ve bu da safra taşı tahmininde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir. Daha yüksek F-puanları, bir özelliğin daha yüksek ayırt edici güce sahip olduğunu, yani safra taşı olan vakaları daha etkili bir şekilde ayırt edebildiğini göstermektedir. Bu nedenle, F-puanı 0,70'in altında olan özellikler elenerek, Varyans Analizi F-puanları için en iyi 32 özellik seçilmiştir. Bu çalışmada literatürde etkinliği gösterilmiş değişkenler tercih edilmiş ve modelleme sürecinde karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada kullanılan değişkenler incelendiğinde, hedef değişken olarak safra taşı durumu yer almakta olup, bağımsız değişkenler demografik özellikler (yaş, cinsiyet), eşlik eden hastalıklar

(komorbidite, koroner arter hastalığı, hipotiroidi, hiperlipidemi ve diabetes mellitus), antropometrik ölçümler (boy, vücut kitle indeksi, toplam vücut suyu, hücre içi ve hücre dışı su miktarları, toplam vücut yağ oranı, yağsız vücut kütlesi, kas kütlesi, obezite düzeyi, toplam yağ miktarı, visceral yağ derecesi, visceral yağ alanı ve visceral kas alanı), karaciğer yağlanması durumu ile biyokimyasal ve hematolojik parametrelerden (glukoz, toplam kolesterol, düşük yoğunluklu lipoprotein, trigliserit, aspartat aminotransferaz, alanin aminotransferaz, alkalen fosfataz, kreatinin, glomerüler filtrasyon hızı, C-reaktif protein, hemoglobin ve D vitamini) oluşmaktadır. Bu değişkenler, bireylerin demografik özelliklerini, vücut kompozisyonunu, metabolik durumunu ve biyokimyasal göstergelerini kapsamlı bir şekilde temsil ederek safra taşı hastalığının tahmininde kullanılacak girdi değişkenlerini oluşturmaktadır. Görsel 1’de ise bu değişkenler arasında oluşturulan korelasyon tablosu verilmiştir. Görsel 1 incelendiğinde değişkenler arasında genel olarak düşük ve orta düzeyde korelasyonlar bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 1. F değerine dayalı özellik seçimi.

Özellik	F-skor	Özellik	F-skor	Özellik	F-skor
D vitamini	23.42	AST	4.14	Hipotiroidizm	1.12
CRP	15.0	Creatinin	4.01	Obezite	1.08
TBW	12.96	BMI	3.5	Trigliserit	1.0
Yağsız kütle	9.96	ICW	3.05	Ağırlık	0.95
TBFR	9.93	ALP	2.99	Eşlik eden hastalık	0.94
Kemik kütlesi	9.24	Height	2.91	ALT	0.78
ECW	6.59	Hipertansiyon	2.48	Hemoglobin	0.63
TFC	6.07	Kas kütlesi	2.34	GFR	0.48
Hiperlipidemi	5.58	HFA	2.22	VAI	0.29
HDL	5.4	Protein	2.09	Toplam kolesterol	0.22
Cinsiyet	5.11	VMA	1.64	Glikoz	0.17
VFA	4.41	LDL	1.15		



2.2. Makine Öğrenmesi Yöntemleri

Bu çalışmada, safra taşı hastalığının tahmin edilmesi amacıyla farklı ML algoritmaları kullanılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda, literatürde yaygın olarak kullanılan RF, MLP, LR, KNN, SVM, XGBoost ve DT algoritmalarına ek olarak KAN ve SuperLearner yöntemleri de analize dahil edilmiştir.

RF, çok sayıda karar ağacının bir araya getirilmesiyle oluşturulan ve genellikle yüksek doğruluk sağlayan bir topluluk öğrenme yöntemidir. MLP, doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilen ileri beslemeli bir yapay sinir ağıdır. LR, özellikle ikili sınıflandırma problemlerinde olasılık temelli tahminler üretmesi nedeniyle temel bir karşılaştırma yöntemi olarak tercih edilmiştir. KNN yöntemi gözlemler arasındaki benzerlikleri dikkate alarak en yakın komşular üzerinden tahmin gerçekleştirmektedir. SVM, özellikle yüksek boyutlu veri setlerinde etkin performans gösteren güçlü bir sınıflandırma yöntemidir. XGBoost algoritması ise zayıf öğrenicileri bir araya getirerek daha güçlü modeller oluşturan topluluk öğrenme yaklaşımlarıdır. DT algoritması, karar kurallarına dayalı ağaç yapısı oluşturarak sınıflandırma işlemini gerçekleştiren yorumlanabilir bir ML yöntemidir.

Bu çalışmanın önemli katkılarından biri, klasik yöntemlerden farklı olarak KAN ve SuperLearner algoritmalarının safra taşı veri seti üzerinde uygulanmasıdır. KAN, Kolmogorov-Arnold temsil teoremine dayanan yapısı sayesinde karmaşık ve çok değişkenli ilişkileri esnek bir biçimde modelleyebilmekte ve yüksek yorumlanabilirlik sunmaktadır. Geleneksel sinir

ağlarından farklı olarak aktivasyon fonksiyonlarının bağlantılar üzerinde tanımlanması, modelin öğrenme kapasitesini artırmaktadır. Buna ek olarak, farklı ML algoritmalarının güçlü yönlerini birleştiren bir topluluk öğrenme yöntemi olan SuperLearner algoritması da çalışmaya dahil edilmiştir. SuperLearner, birden fazla temel öğrenicinin çıktısını optimize edilmiş şekilde bir araya getirerek daha yüksek doğruluk ve genellenebilirlik sağlamayı amaçlamaktadır. Bu özellikleri sayesinde özellikle karmaşık ve çok boyutlu veri yapılarında etkili sonuçlar vermektedir.

Tüm modeller aynı veri seti üzerinde eğitilmiş ve performansları doğruluk, duyarlılık, özgüllük ve F1 skoru gibi ölçütler kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu sayede, farklı yöntemlerin tahmin performansları tutarlı bir şekilde karşılaştırılıp, değerlendirilmiştir.

2.3. SHAP

SHAP, ML modellerinin tahminlerini açıklamak amacıyla kullanılan bir yorumlanabilirlik yöntemidir. Oyun teorisindeki Shapley değerlerine dayanan bu yaklaşım, her bir değişkenin model çıktısına yaptığı katkıyı nicel olarak hesaplamaktadır. SHAP analizi sayesinde bir tahminin hangi değişkenlerden ve ne ölçüde etkilendiği belirlenebilmekte, böylece kompleks ML modellerinin daha açık ve yorumlanabilir hale gelmesi sağlanmaktadır. Özellikle sağlık alanındaki uygulamalarda, klinik yorumlar ile karşılaştırılarak önemli risk faktörlerinin ortaya konulabilmesi açısından yaygın olarak kullanılmaktadır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Safra kesesi veri seti için kullanılan yöntemler arasında, klasik ML yöntemlerinin yanı sıra Super Learner ve KAN gibi güncel yaklaşımlar da değerlendirmeye dâhil edilmiştir. Ele alınan yöntemlerin performansları; doğruluk (Accuracy), duyarlılık (Recall), kesinlik (Precision), F1 skoru ve özgüllük (Specificity) gibi yaygın olarak kullanılan sınıflandırma ölçütleri aracılığıyla analiz edilmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 2’de karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Accuracy ölçütü açısından en yüksek performansın XGBoost algoritması tarafından sağlandığı görülmektedir. Bu bulgu, Safra taşı veri seti özelinde XGBoost algoritmasının diğer yöntemlere kıyasla daha etkili ve güçlü bir sınıflandırıcı olduğunu ortaya koymaktadır. XGBoost modelini sırasıyla KAN (0,8125) ve SVM (0,8034) yöntemleri takip etmektedir.

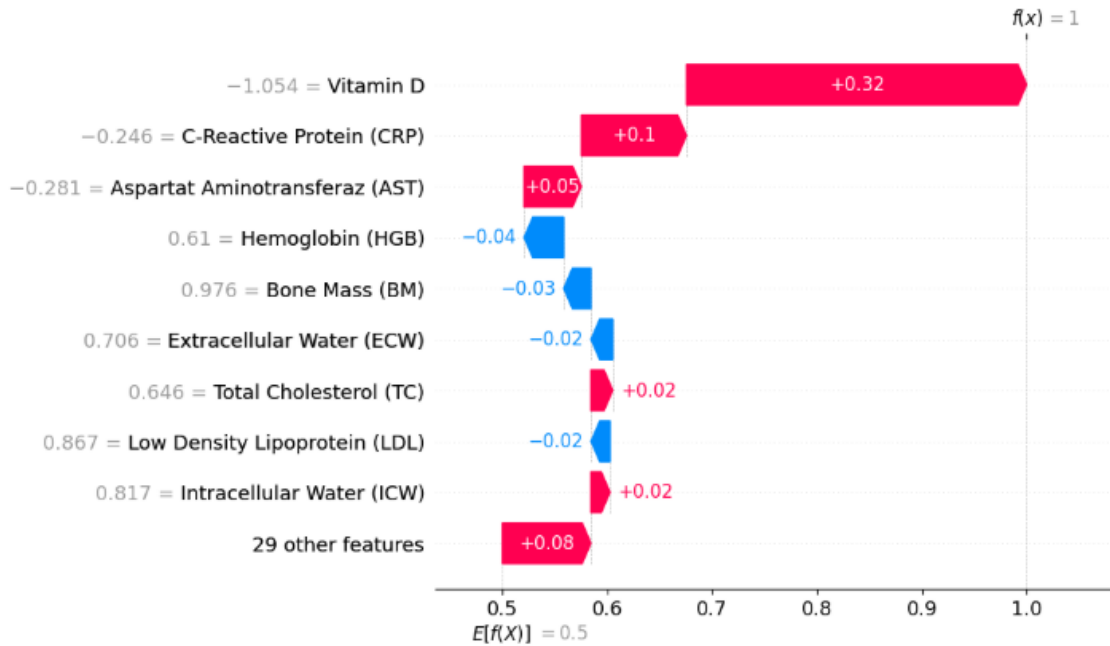
Bununla birlikte, yalnızca doğruluk ölçütünün değil, diğer performans kriterlerinin de birlikte değerlendirilmesi model seçiminde daha bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışma, geleneksel yöntemler ile modern ML yaklaşımlarının karşılaştırmalı analizini sunarak, ilgili veri seti için en uygun modelin belirlenmesine katkı sağlamaktadır.

Çizelge 2 incelendiğinde, değerlendirilen yöntemler arasında en yüksek performansın XGBoost algoritması tarafından sergilendiği görülmektedir. XGBoost modeli %89,66 doğruluk, %83,87

duyarlılık, %86,67 F1 skoru, %89,66 kesinlik ve %90,91 özgüllük değerleri ile diğer yöntemlerin önüne geçmiştir. Bu sonuçlar, XGBoost algoritmasının hem pozitif hem de negatif sınıfları başarılı bir şekilde ayırt edebildiğini ve veri seti üzerinde en dengeli performansı sunduğunu göstermektedir. Doğruluk ölçütü bakımından XGBoost modelini sırasıyla KAN (%81,25), SVM (%80,34), RF (%79,69) ve Super Learner (%79,17) yöntemleri takip etmektedir. Özellikle KAN modelinin geleneksel ML yöntemleriyle rekabet edebilecek düzeyde performans göstermesi dikkat çekici bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, geliştirilen modelin tahminlerinin yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla SHAP analizi uygulanmış olup, elde edilen sonuçlar Görsel 2'de sunulmuştur.

Metot	Accuracy	Recall	F1 skor	Precision	Specificity
LR	0,7812	0,7812	0,7786	0,7903	0,8788
RF	0,7969	0,7969	0,7969	0,7974	0,7879
SuperLearner	0,7917	0,8125	0,7916	0,7922	0,7708
MLP	0,7344	0,6452	0,7018	0,7692	0,8182
DT	0,7656	0,7959	0,7657	0,7661	0,7576
XGBoost	0,8966	0,8387	0,8667	0,8966	0,9091
SVM	0,8034	0,7969	0,7951	0,8047	0,8788
KAN	0,8125	0,8125	0,8121	0,8134	0,8485

Çizelge 1. Safta taşı veri seti için ML yöntemlerinin sonuçları.



Görsel 1. Safta taşı veri seti için SHAP grafiği.

Görsel 2’de verilen SHAP grafiği, model tahmini için hangi değişkenlerin ne yönde katkı sağladığını göstermektedir. Modelin baz tahmini $E[f(X)] = 0.5$ iken, karar 1 (hasta) olarak verilmiştir. En belirleyici değişken, -1.054 düzeyinde ölçülen Vitamin D’dir ve $+0.32$ ’lik SHAP değeriyle tahmine en güçlü pozitif katkıyı sağlamaktadır; bu durum, düşük Vitamin D seviyesinin pozitif sınıf riskini belirgin biçimde artırdığına işaret etmektedir. Bunu sırasıyla -0.246 değerindeki C-Reaktif Protein (CRP) ($+0.10$) ve -0.281 değerindeki AST ($+0.05$) izlemekte olup her ikisi de pozitif yönde etkilemektedir. Buna karşın Hemoglobin (HGB) (0.61 ; -0.04), Kemik Kütlesi (BM) (0.976 ; -0.03), Hücre Dışı Su (ECW) (0.706 ; -0.02) ve LDL (0.867 ; -0.02) negatif SHAP değerleriyle modelin bu örneği negatif sınıfa atamasını yönünde etkileyen faktörler olarak öne çıkmaktadır. Geri kalan 29 değişken toplamda $+0.08$ katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak bu modelde düşük Vitamin D başta olmak üzere yüksek CRP ve AST değerleri, pozitif sınıf tahminini en çok tetikleyen parametreler olarak belirlenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elde edilen bulgular yalnızca safra taşı veri seti ile sınırlı olup, gelecekte yapılacak çalışmalarda önerilen yöntemlerin farklı hastalık gruplarına ait veri setleri üzerinde de test edilmesi yararlı olacaktır. Özellikle diyabet, kalp-damar hastalıkları, karaciğer hastalıkları, kanser ve kronik böbrek hastalığı gibi klinik açıdan önemli sağlık problemlerinde hızlı ve ekonomik çözümler sunacaktır. Ayrıca daha büyük ve çok merkezli veri setlerinin kullanılması, farklı özellik seçimi yöntemlerinin entegre edilmesi ve derin öğrenme tabanlı hibrit modellerle karşılaştırmalar yapılması gelecekteki araştırmalar için önemli çalışma alanları olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Esteva, A., Robicquet, A., Ramsundar, B. et al. A guide to deep learning in healthcare. Nat Med 25, 24–29 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41591-018-0316-z>
- [2] Esen, İrfan MDa,*; Arslan, Hilalb; Aktürk Esen, Selin MDc; Gülşen, Mervenurd; Kültekin, Nimetd; Özdemir, Oğuzhan MDe. Early prediction of gallstone disease with a machine learning-based method from bioimpedance and laboratory data. Medicine 103(8):p e37258, February 23, 2024. | DOI: 10.1097/MD.00000000000037258
- [3] Grampurohit, S., & Sagarnal, C. (2020). Disease Prediction using Machine Learning Algorithms. 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET), 1-7.
- [4] Nghia H Nguyen, Dominic Picetti, Parambir S Dulai, Vipul Jairath, William J Sandborn, Lucila Ohno-Machado, Peter L Chen, Siddharth Singh, Machine Learning-based Prediction Models for Diagnosis and Prognosis in Inflammatory Bowel Diseases: A Systematic Review, Journal of Crohn's and Colitis, Volume 16, Issue 3, March 2022, Pages 398–413, <https://doi.org/10.1093/ecco-jcc/jjab155>.
- [5] S. Mohan, C. Thirumalai and G. Srivastava, “Effective heart disease prediction using hybrid machine learning techniques,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 81542–81554, 2019.

- [6] A. Singh and R. Kumar, "Heart disease prediction using machine learning algorithms," in *2020 International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ICE3)*, 2020, pp. 452–457. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICE348803.2020.9122958>(<https://doi.org/10.1109/ICE348803.2020.9122958>)
- [7] N. Chandrasekhar and S. Peddakrishna, "Enhancing heart disease prediction accuracy through machine learning techniques and optimization," *Processes*, vol. 11, no. 4, p. 1210, 2023.
- [8] Shehab M, Abualigah L, Shambour Q, Abu-Hashem MA, Shambour MKY, Alsalibi AI, Gandomi AH. Machine learning in medical applications: A review of state-of-the-art methods. *Comput Biol Med.* 2022 Jun;145:105458. doi: 10.1016/j.compbimed.2022.105458. Epub 2022 Mar 28. PMID: 35364311.
- [9] P. S. Sen and S. Mitra, "Kolmogorov-Arnold Network (KAN) for Cardio Vascular Disease Classification," 2025 IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI), Gwalior, India, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/IATMSI64286.2025.10984711.
- [10] Zhu, X., Zhang, P., Jiang, H. et al. Using the Super Learner algorithm to predict risk of major adverse cardiovascular events after percutaneous coronary intervention in patients with myocardial infarction. *BMC Med Res Methodol* 24, 59 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12874-024-02179-5>
- [11] Torquati M, Mendis M, Xu H, Myneni AA, Noyes K, Hoffman AB, Omotosho P, Becerra AZ. Using the Super Learner algorithm to predict risk of 30-day readmission after bariatric surgery in the United States. *Surgery.* 2022 Mar;171(3):621-627. doi: 10.1016/j.surg.2021.06.019. Epub 2021 Jul 31. PMID: 34340821.

PROPER RIORDAN ARRAYS AND THEIR APPLICATION

ERDEM DOĞAN

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

dgnmatakademi@gmail.com, ORCID: 0009-0004-4224-2136

Prof. Dr. NEŞE ÖMÜR

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

neseomur@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3972-9910

ABSTRACT. In this study, four proper Riordan arrays involving the (α, β) -two-parameter degenerate harmonic numbers are considered. First, the entries of the matrices corresponding to these Riordan arrays are obtained. Then, by using these special Riordan arrays, new combinatorial sums and identities related to the (α, β) -two-parameter degenerate harmonic numbers are derived. In this process, new relations that have not appeared in the literature are obtained. In addition, the relationships of these sums with special numbers and other combinatorial structures are also analyzed. The obtained results show that Riordan theory can be applied in a broader framework in the context of degenerate harmonic numbers and provide a new perspective for studies in this area. Finally, the inverse matrices of two of the four defined Riordan arrays are explicitly determined.

Keywords: Riordan arrays, (α, β) -two-parameter degenerate harmonic numbers, identities.

1. INTRODUCTION

The generalized harmonic numbers [1] are given by

$$H_v(\sigma) = \sum_{\zeta=1}^v \frac{\sigma^\zeta}{\zeta} \text{ for } v \in \mathbb{N},$$

where σ is variable. When $\sigma = 1$, $H_n(1) = H_n$ is Harmonic number[2,3]. Their generating function is

$$\sum_{\zeta=1}^{\infty} H_{\zeta}(\sigma) \varpi^{\zeta} = -\frac{\ln(1 - \sigma \varpi)}{1 - \varpi}.$$

In [4], the following expansion holds in a neighborhood of zero by

$$\frac{\ln(1 - \alpha \varpi)}{1 - \beta \varpi} = -\sum_{\zeta=1}^{\infty} \beta^{\zeta} H_{\zeta}\left(\frac{\alpha}{\beta}\right) \varpi^{\zeta}, \quad (1)$$

where α, β are variables.

For non-negative integers ϱ, ς , it is well known that

$$\frac{\varpi^\varsigma}{(1-\varpi)^{\varrho+1}} = \sum_{\zeta=1}^{\infty} \binom{\zeta + \varrho - \varsigma}{\varrho} \varpi^\zeta. \quad (2)$$

In recent years, degenerate harmonic numbers have been introduced as a generalization of classical harmonic numbers. Numerous combinatorial identities involving these numbers have been established. As a parametric generalization of classical harmonic numbers, degenerate harmonic numbers have become an important subject of research in both theoretical and applied mathematics due to the novel structures and relationships they reveal. Research in this area has attracted increasing attention, and new results and identities continue to enrich the literature. [5-8].

Let λ be any nonzero real number. The degenerate exponential function [6] is defined by

$$e_\lambda^x(\varpi) = (1 + \lambda\varpi)^{x/\lambda} = \sum_{\zeta=1}^{\infty} (x)_{\zeta,\lambda} \frac{\varpi^\zeta}{\zeta!},$$

where $(x)_{0,\lambda} = 1$ and $(x)_{\nu,\lambda} = x(x-\lambda)(x-2\lambda) \dots (x-(\nu-1)\lambda)$ for $\nu \geq 1$. Note that when $\lambda = 1$, $(x)_{\nu,\lambda} = (x)_\nu$ and $\lim_{\lambda \rightarrow 0} e_\lambda^x(\varpi) = e^{x\varpi}$.

$\log_\lambda(\varpi)$ is the degenerate logarithm[8] which is the compositional inverse of $e_\lambda(\varpi)$ so that $e_\lambda(\log_\lambda(\varpi)) = \log_\lambda(e_\lambda(\varpi)) = \varpi$. Then,

$$\log_\lambda(1 + \varpi) = \sum_{\zeta=1}^{\infty} \lambda^{\zeta-1} (1)_{\zeta,1/\lambda} \frac{\varpi^\zeta}{\zeta!} = \frac{1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^{\infty} (\lambda)_\zeta \frac{\varpi^\zeta}{\zeta!} = \frac{1}{\lambda} ((1 + \varpi)^\lambda - 1). \quad (3)$$

Note that $\lim_{\lambda \rightarrow 0} \log_\lambda(1 + \varpi) = \log(1 + \varpi)$ [13].

In [7], the degenerate harmonic numbers are given by

$$H_{0,\lambda} = 0 \quad \text{and} \quad H_{\nu,\lambda} = \sum_{j=1}^{\nu} \frac{(-1)^{j-1}}{\lambda} \binom{\lambda}{j},$$

and their generating function is given by

$$-\frac{\log_\lambda(1 - \varpi)}{1 - \varpi} = \sum_{\zeta=0}^{\infty} H_{\zeta,\lambda} \varpi^\zeta.$$

Kim et al.[9] showed that

$$-\frac{\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{1 - \beta\varpi} = \sum_{\zeta=1}^{\infty} C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta) \varpi^\zeta, \quad (4)$$

where

$$C_{\lambda}(\nu, \alpha, \beta) = -\frac{1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^{\nu} (\lambda)_{\zeta} \frac{(-\alpha)^{\zeta}}{\zeta!} \beta^{\nu-\zeta}. \quad (5)$$

$C_{\lambda}(\nu, \alpha, \beta)$ is called as degenerate numbers with parameters α and β . In particular, when $\lambda = 1$, $C_1(\nu, \alpha, \beta) = C(\nu, \alpha, \beta)$. Note that $C_{\lambda}(\nu, 1, 1) = H_{\nu, \lambda}$ is degenerate harmonic number and $C_1(\nu, 1, 1) = H_{\nu}$ is harmonic number.

Sequence $\{U_{\nu}(p)\}$ is defined by the recurrence relation

$$U_{\nu}(p) = pU_{\nu-1}(p) + U_{\nu-2}(p) \text{ for } \nu \geq 2$$

with $U_0(p) = 0$ and $U_1(p) = p$. Binet formula of this sequence is given by

$$U_{\nu}(p) = \frac{p-\phi(p)}{\varphi(p)-\phi(p)} (\varphi(p))^{\nu} + \frac{\varphi(p)-p}{\varphi(p)-\phi(p)} (\phi(p))^{\nu},$$

where $\varphi(p)$ and $\phi(p)$ are roots of $\varpi^2 - p\varpi - 1 = 0$. Generating function of $U_{\nu}(p)$ is given by

$$\frac{1}{1 - p\varpi - \varpi^2} = \sum_{\zeta=0}^{\infty} U_{\zeta}(p) \varpi^{\zeta}. \quad (6)$$

Sequence $\{V_{\nu}(p)\}$ is defined by the recurrence relation

$$V_{\nu}(p) = pV_{\nu-1}(p) - V_{\nu-2}(p) \text{ for } \nu \geq 2$$

with $V_0(p) = 1$ $V_1(p) = p$. Binet formula of this sequence is given by

$$V_{\nu}(p) = \frac{p - \phi(p)}{\varphi(p) - \phi(p)} (\varphi(p))^{\nu} + \frac{\varphi(p) - p}{\varphi(p) - \phi(p)} (\phi(p))^{\nu}.$$

Here $\varphi(p)$ ve $\phi(p)$ are roots of $\varpi^2 - p\varpi + 1 = 0$. Generating function of $V_{\nu}(p)$ is given by

$$\frac{1}{1 - p\varpi + \varpi^2} = \sum_{\zeta=0}^{\infty} V_{\zeta}(p) \varpi^{\zeta}. \quad (7)$$

The Bernoulli polynomials of the second kind of order r $b_{\nu, \lambda}^{(r)}(x)$ [10,11] is defined by

$$\left(\frac{\varpi}{\log_{\lambda}(1 + \varpi)}\right)^r (1 + \varpi)^x = \sum_{\zeta=0}^{\infty} b_{\zeta, \lambda}^{(r)}(x) \frac{\varpi^{\zeta}}{\zeta!}. \quad (8)$$

In 1991, Shapiro, Getu, Woan, and Woodson introduced a group of infinite lower triangular matrices called the Riordan group [13]. In recent studies, the theory of Riordan arrays has been employed to drive various identities involving special numbers and binomial coefficients [12-15].

Let $g(\varpi)$ and $f(\varpi)$ be formal power series in the indeterminate, i.e., $g(\varpi) = \sum_{\zeta=0}^{\infty} g_{\zeta} \varpi^{\zeta}$ and $f(\varpi) = \sum_{\zeta=0}^{\infty} f_{\zeta} \varpi^{\zeta}$. A Riordan array is an infinite, lower triangular array and defined by a pair of functions $g(\varpi)$ and $f(\varpi)$ such that $R = (g(\varpi), f(\varpi)) = [r_{\nu, \mu}]_{\nu, \mu \geq 0}$ with

$$r_{v,\mu} = [\varpi^v]g(\varpi)(f(\varpi))^\mu, \quad (9)$$

where $[\varpi^v]$ is defined by $[\varpi^v]A(\varpi) = a_v$ in the power series of function $A(\varpi) = \sum_{v=0}^{\infty} a_v \varpi^v$. Let $\mathfrak{R}$ denote the set of Riordan arrays. In [13], it is known that $\langle \mathfrak{R}, * \rangle$ forms a group under matrix multiplication $*$ with the identity $I = (1, 1)$: For $(g(\varpi), f(\varpi)), (v(\varpi), u(\varpi)) \in \mathfrak{R}$,

$$(g(\varpi), f(\varpi)) * (v(\varpi), u(\varpi)) = (g(\varpi)v(f(\varpi)), u(f(\varpi))).$$

Here, since inverse of $f(\varpi)$ is $\bar{f}(\varpi)$, inverse of $(g(\varpi), f(\varpi))$ is

$$((g(\varpi), f(\varpi)))^{-1} = \left(\frac{1}{g(\bar{f}(\varpi))} \bar{f}(\varpi) \right). \quad (10)$$

For $R = (g(\varpi), f(\varpi))$, if $g(0) \neq 0, f(0) = 0$ with $f'(0) \neq 0$, Riordan array is called proper, otherwise, it is called improper. Let $R = (g(\varpi), f(\varpi))$ and $h(\varpi) = \sum_{v=0}^{\infty} h_v \varpi^v$. In [15], then

$$\sum_{\zeta=0}^v r_{v,\zeta} h_\zeta = [\varpi^v]g(\varpi)h(f(\varpi)). \quad (11)$$

Theorem 1: Let $R = (g(\varpi), f(\varpi))$ be proper Riordan array. The following sums is valid[15]:

$$\sum_{\zeta=0}^v r_{v,\zeta} = [\varpi^v] \frac{g(\varpi)}{1 - f(\varpi)}, \quad (12)$$

$$\sum_{\zeta=0}^v (-1)^\zeta r_{v,\zeta} = [\varpi^v] \frac{g(\varpi)}{1 + f(\varpi)}, \quad (13)$$

$$\sum_{\zeta=0}^v \zeta r_{v,\zeta} = [\varpi^v] \frac{\varpi g(\varpi) f(\varpi)}{(1 + f(\varpi))^2}, \quad (14)$$

$$\sum_{\zeta=0}^v r_{v-\zeta,\zeta} = [\varpi^v] \frac{g(\varpi)}{1 - \varpi f(\varpi)}. \quad (15)$$

2. SOME PROPER RIORDAN ARRAYS AND THEIR APPLICATIONS

In this section, we will obtain some identities involving $C_\lambda(v, \alpha, \beta)$ by giving matrix representations of certain proper Riordan arrays.

Lemma 2.1. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\begin{aligned} & \left(\frac{-\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{\varpi}, \frac{\varpi}{1 - \beta\varpi} \right) \\ &= \left[-\frac{1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta}{\zeta!} \binom{v-\zeta}{v-\mu-\zeta+1} \beta^{v-\mu-\zeta+1} \right]. \end{aligned}$$

Proof: From (9), we have

$$r_{v,\mu} = [\varpi^v] \frac{-\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{\varpi} \left(\frac{\varpi}{1 - \beta\varpi}\right)^\mu = [\varpi^{v-\mu+1}] - \frac{\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{(1 - \beta\varpi)^\mu}.$$

From here, by (2) ve (4), we can write

$$\begin{aligned} r_{v,\mu} &= -[\varpi^{v-\mu+1}] \frac{1}{\lambda} \sum_{v=1}^{\infty} (\lambda)_v \frac{(-1)^v \alpha^v \varpi^v}{v!} \sum_{v=0}^{\infty} \binom{v + \mu - 1}{v} \beta^v \varpi^v \\ &= -\frac{1}{\lambda} [\varpi^{v-\mu+1}] \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{\zeta=1}^v (\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta}{\zeta!} \binom{v - \zeta + \mu - 1}{v - \zeta} \beta^{v-\zeta} \varpi^v \\ &= -\frac{1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta}{\zeta!} \binom{v - \zeta}{v - \mu - \zeta + 1} \beta^{v-\mu-\zeta+1}. \end{aligned}$$

Thus, we have the proof.

Now, if we take $\lambda = 7, \alpha = 2, \beta = 3$ in Lemma1.1, the desired matrix is given by

$$\left(\frac{-\log_7(1 - 2\varpi)}{\varpi}, \frac{\varpi}{1 - 3\varpi} \right) = \begin{bmatrix} 2 & & & & \\ -6 & 2 & & & 0 \\ 22 & 0 & 2 & & \\ -14 & 22 & 6 & 2 & \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \ddots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & & 2 \end{bmatrix}.$$

Also, since the diagonal elements of matrix in Lemma 1.1 are α , the determinant of this matrix is α^v if it is matrix of order v .

Now, using matrix in Lemma 1.1, we can state the following identities.

Theorem 2.2. For $v \in \mathbb{Z}^+, \lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\begin{aligned} &\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_\zeta \frac{(-\alpha)^\zeta}{\zeta!} \binom{v - \zeta}{v - \mu - \zeta + 1} \beta^{v-\mu-\zeta+1} \\ &= \lambda(\beta C_\lambda(v, \alpha, \beta + 1) - C_\lambda(v + 1, \alpha, \beta + 1)). \end{aligned}$$

Proof: Taking $g(\varpi) = \frac{-\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{\varpi}$ and $f(\varpi) = \frac{\varpi}{1 - \beta\varpi}$ in (12), we can write that

$$-\frac{1}{\lambda} \sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta}{\zeta!} \binom{v - \zeta}{v - \mu - \zeta + 1} \beta^{v-\mu-\zeta+1} = [\varpi^{v+1}] \frac{-\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{1 - (1 + \beta)\varpi} (1 - \beta\varpi),$$

and (4) holds that

$$-\frac{1}{\lambda} \sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta}{\zeta!} \binom{v - \zeta}{v - \mu - \zeta + 1} \beta^{v-\mu-\zeta+1}$$

$$\begin{aligned}
&= [\varpi^{v+1}] \sum_{v=1}^{\infty} C_{\lambda}(v, \alpha, 1 + \beta) \varpi^v (1 - \beta \varpi) \\
&= [\varpi^{v+1}] \sum_{v=1}^{\infty} C_{\lambda}(v, \alpha, 1 + \beta) \varpi^v - \beta [\varpi^v] \sum_{v=1}^{\infty} C_{\lambda}(v, \alpha, 1 + \beta) \varpi^v \\
&= C_{\lambda}(v + 1, \alpha, 1 + \beta) - \beta C_{\lambda}(v, \alpha, 1 + \beta),
\end{aligned}$$

as claimed.

Theorem 2.3. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\begin{aligned}
&\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta+\mu} \alpha^{\zeta}}{\zeta!} \binom{v-\zeta}{v-\mu-\zeta+1} \beta^{v-\mu-\zeta+1} \\
&= \lambda (\beta C_{\lambda}(v, \alpha, \beta - 1) - C_{\lambda}(v + 1, \alpha, \beta - 1)).
\end{aligned}$$

Proof : Taking $g(\varpi) = \frac{-\log_{\lambda}(1-\alpha\varpi)}{\varpi}$ and $f(\varpi) = \frac{\varpi}{1-\beta\varpi}$ in (13), we have

$$\begin{aligned}
&-\frac{1}{\lambda} \sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta+\mu} \alpha^{\zeta}}{\zeta!} \binom{v-\zeta}{v-\mu-\zeta+1} \beta^{v-\mu-\zeta+1} \\
&= [\varpi^{v+1}] \frac{-\log_{\lambda}(1 - \alpha\varpi)}{1 - (\beta - 1)\varpi} (1 - \beta\varpi).
\end{aligned}$$

By (6), we have

$$\begin{aligned}
&-\frac{1}{\lambda} \sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta+\mu} \alpha^{\zeta} \beta^{v-\mu-\zeta+1}}{\zeta!} \binom{v-\zeta}{v-\mu-\zeta+1} \\
&= [\varpi^{v+1}] \sum_{v=1}^{\infty} C_{\lambda}(v, \alpha, \beta - 1) \varpi^v (1 - \beta \varpi) \\
&= [\varpi^{v+1}] \sum_{v=1}^{\infty} C_{\lambda}(v, \alpha, \beta - 1) \varpi^v - \beta [\varpi^v] \sum_{v=1}^{\infty} C_{\lambda}(v, \alpha, \beta - 1) \varpi^v \\
&= C_{\lambda}(v + 1, \alpha, \beta - 1) - \beta C_{\lambda}(v, \alpha, \beta - 1),
\end{aligned}$$

as claimed.

Theorem 2.4. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\begin{aligned}
&\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} \mu (\lambda)_{\zeta} \frac{(-\alpha)^{\zeta} \beta^{v-\mu-\zeta+1}}{\zeta!} \binom{v-\zeta}{v-\mu-\zeta+1} \\
&+ \lambda \sum_{\zeta=1}^v C_{\lambda}(\zeta, \alpha, 1 + \beta) (1 + \beta)^{v-\zeta-1} = \frac{-\lambda \beta}{\beta + 1} C_{\lambda}(v, \alpha, 1 + \beta).
\end{aligned}$$

Proof: Taking $g(\varpi) = \frac{-\log_\lambda(1-\alpha\varpi)}{\varpi}$ and $f(\varpi) = \frac{\varpi}{1-\beta\varpi}$ in (14), by (2) and (4), we have

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{\lambda} \sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} \mu(\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta}{\zeta!} \binom{v-\zeta}{v-\mu-\zeta+1} \beta^{v-\mu-\zeta+1} \\
& = [\varpi^v] \frac{-\log_\lambda(1-\alpha\varpi)}{1-(1+\beta)\varpi} \frac{1-\beta\varpi}{1-(1+\beta)\varpi} \\
& = \frac{1}{\beta+1} [\varpi^v] \frac{-\log_\lambda(1-\alpha\varpi)}{1-(1+\beta)\varpi} \left(\beta + \frac{1}{1-(1+\beta)\varpi} \right) \\
& = \frac{1}{\beta+1} [\varpi^v] \sum_{v=1}^{\infty} C_\lambda(v, \alpha, 1+\beta) \varpi^v \left(\beta + \frac{1}{1-(1+\beta)\varpi} \right) \\
& = \frac{\beta}{\beta+1} [\varpi^v] \sum_{v=1}^{\infty} C_\lambda(v, \alpha, 1+\beta) \varpi^v + \frac{1}{\beta+1} [\varpi^v] \sum_{v=1}^{\infty} C_\lambda(v, \alpha, 1+\beta) \varpi^v \sum_{v=0}^{\infty} (1+\beta)^v \varpi^v \\
& = \frac{\beta}{\beta+1} C_\lambda(v, \alpha, 1+\beta) + \frac{1}{\beta+1} \sum_{\zeta=1}^v C_\lambda(\zeta, \alpha, 1+\beta) (1+\beta)^{v-\zeta}.
\end{aligned}$$

Thus, we have the proof.

Theorem 2.5. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\begin{aligned}
& \sum_{\vartheta=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-2\vartheta+1} (\lambda)_j \frac{(-\alpha)^\zeta \beta^{v-2\vartheta-\zeta+1}}{\zeta!} \binom{v-\vartheta-\zeta}{v-2\vartheta-\zeta+1} \\
& = \sum_{\zeta=1}^v U_{v-\zeta-1}(\beta) (\lambda)_\zeta \frac{(-\alpha)^\zeta}{\zeta!} + \frac{(\lambda)_{v+1} (-\alpha)^{v+1}}{(v+1)!},
\end{aligned}$$

where $U_v(\beta)$ is as above.

Proof.: Taking $g(\varpi) = \frac{-\log_\lambda(1-\alpha\varpi)}{\varpi}$ and $f(\varpi) = \frac{\varpi}{1-\beta\varpi}$ in (15), we write

$$\begin{aligned}
& -\frac{1}{\lambda} \sum_{\vartheta=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-2\vartheta+1} (\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta \beta^{v-2\vartheta-\zeta+1}}{\zeta!} \binom{v-\vartheta-\zeta}{v-2\vartheta-\zeta+1} = [\varpi^v] \frac{-\log_\lambda(1-\alpha\varpi)}{\varpi(1-\frac{\varpi^2}{1-\beta\varpi})} \\
& = -[\varpi^{v+1}] \frac{\log_\lambda(1-\alpha\varpi) (1-\beta\varpi)}{1-\beta\varpi-\varpi^2}.
\end{aligned}$$

(3) and (6) hold that

$$-\frac{1}{\lambda} \sum_{\vartheta=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-2\vartheta+1} (\lambda)_\zeta \frac{(-1)^\zeta \alpha^\zeta}{\zeta!} \binom{v-\vartheta-\zeta}{v-2\vartheta-\zeta+1} \beta^{v-2\vartheta-\zeta+1}$$

$$\begin{aligned}
&= [\varpi^{v+1}] - \frac{1}{\lambda} \sum_{v=1}^{\infty} (\lambda)_v \frac{(-1)^v \alpha^v \varpi^v}{v!} \sum_{v=0}^{\infty} U_v(\beta) \varpi^v (1 - \beta \varpi) \\
&= -[\varpi^{v+1}] \frac{1}{\lambda} \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{\zeta=1}^v U_{v-\zeta}(\beta) (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta} \alpha^{\zeta} \varpi^v}{\zeta!} (1 - \beta \varpi) \\
&= -[\varpi^{v+1}] \frac{1}{\lambda} \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{\zeta=1}^v U_{v-\zeta}(\beta) (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta} \alpha^{\zeta} \varpi^v}{\zeta!} \\
&\quad + \beta [\varpi^v] \frac{1}{\lambda} \sum_{v=1}^{\infty} \sum_{\zeta=1}^v U_{v-\zeta}(\beta) (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta} \alpha^{\zeta} \varpi^v}{\zeta!} \\
&= \frac{-1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^{v+1} U_{v+1-\zeta}(\beta) (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta} \alpha^{\zeta}}{\zeta!} + \beta \frac{1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^v U_{v-\zeta}(\beta) (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta} \alpha^{\zeta}}{\zeta!} \\
&= \frac{-1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^v \left(U_{v+1-\zeta}(\beta) - \beta U_{v-\zeta}(\beta) \right) (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta} \alpha^{\zeta}}{\zeta!} - \frac{(\lambda)_{v+1} (-\alpha)^{v+1}}{\lambda (v+1)!} \\
&= \frac{-1}{\lambda} \sum_{\zeta=1}^v U_{v-\zeta-1}(\beta) (\lambda)_{\zeta} \frac{(-1)^{\zeta} \alpha^{\zeta}}{\zeta!} - \frac{(\lambda)_{v+1} (-\alpha)^{v+1}}{\lambda (v+1)!}.
\end{aligned}$$

Thus, we have the proof.

Now, we will present the other Proper Riordan matrices and the equalities derived from them without proof.

Lemma 2.6. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\left(\frac{-\log_{\lambda}(1 - \alpha \varpi)}{\varpi(1 - \beta \varpi)^2}, \frac{-\varpi}{1 - \beta \varpi} \right) = \left[(-1)^k \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} C_{\lambda}(\zeta, \alpha, \beta) \binom{v - \zeta + 1}{\mu} \beta^{v-\mu-\zeta+1} \right].$$

Now, if we take $\lambda = 7, \alpha = 2, \beta = 3$ in Lemma 2.6, the desired matrix is given by

$$\left(\frac{-\log_7(1 - 2\varpi)}{\varpi(1 - 3\varpi)^2}, \frac{-\varpi}{1 - 3\varpi} \right) = \begin{bmatrix} -2 & & & \\ 6 & 2 & & 0 \\ -40 & 12 & -2 & \\ -172 & 76 & -18 & 2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \end{bmatrix}.$$

Also, since the diagonal elements of the matrix in Lemma 2.6 are $-\alpha$, the determinant of this matrix is $(-\alpha)^v$ if it is matrix of order v .

Using Riordan matrix from Lemma 2.6, we will give Theorems 2.7-2.10:

Theorem 2.7. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} (-1)^\mu \binom{v-\zeta+1}{\mu} \frac{C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta)}{\beta^{\mu+\zeta}} = \sum_{\zeta=1}^{v+1} \frac{C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta-1)}{\beta^\zeta}.$$

Theorem 2.8. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} \binom{v-\zeta+1}{\mu} \frac{C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta)}{\beta^{\mu+\zeta}} = \sum_{\zeta=1}^{v+1} \frac{C_\lambda(\zeta, \alpha, 1+\beta)}{\beta^\zeta}.$$

Theorem 2.9. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\begin{aligned} & \sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-\mu+1} \mu (-1)^\mu C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta) \binom{v-\zeta+1}{\mu} \beta^{v-\mu-\zeta+1} \\ &= \sum_{\zeta=1}^v C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta-1) (\beta-1)^{v-\zeta+1} - \sum_{\zeta=1}^v C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta-1) \beta^{v-\zeta+1}. \end{aligned}$$

Theorem 2.10. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=1}^{v-2\mu+1} (-1)^\mu C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta) \binom{v-\mu-\zeta+1}{\mu} \beta^{v-2\mu-\zeta+1} = \sum_{\zeta=1}^{v+1} C_\lambda(\zeta, \alpha, \beta) V_{v-\zeta+1}(\beta),$$

where $V_v(\beta)$ is as above.

Lemma 2.11. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\begin{aligned} & \left(\frac{(\log_\lambda(1-\alpha\varpi))^2}{\varpi^2(1-\beta\varpi)}, \frac{\varpi}{1-\beta\varpi} \right) \\ &= \left[\frac{1}{\lambda^2} \sum_{\zeta=2}^{v-\mu+2} \sum_{\vartheta=1}^{\zeta-1} (\lambda)_{\zeta-\vartheta} (\lambda)_{\vartheta} \frac{(-\alpha)^\zeta \beta^{v-\mu+2-\zeta}}{\zeta!} \binom{\zeta}{\vartheta} \binom{v-\zeta+2}{\mu} \right]. \end{aligned}$$

Now, if we take $\lambda = 7, \alpha = 2, \beta = 3$ in Lemma 2.11, the desired matrix is given by

$$\left(\frac{(\log_7(1-2\varpi))^2}{\varpi^2(1-3\varpi)}, \frac{\varpi}{1-3\varpi} \right) = \begin{bmatrix} -4 & & & & \\ 36 & -4 & & & 0 \\ -124 & 24 & -4 & & \\ 692 & -124 & 12 & -4 & \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \ddots \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \end{bmatrix}.$$

Also, since the diagonal elements of the matrix in Lemma 2.11 are $-\alpha$, the determinant of this matrix is $(-\alpha)^v$ if it is matrix of order v .

Theorem 2.12. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=2}^{v-\mu+2} \sum_{\vartheta=1}^{\zeta-1} (\lambda)_{\zeta-\vartheta} (\lambda)_{\vartheta} \binom{\zeta}{\vartheta} \binom{v-\zeta+2}{\mu} \frac{(-\alpha)^{\zeta} \beta^{v-\mu+2-\zeta}}{\zeta!}$$

$$= -\lambda \sum_{\vartheta=1}^{v+1} (\lambda)_{\vartheta} C_{\lambda}(v-\vartheta+2, \alpha, \beta+1) \frac{(-\alpha)^{\vartheta}}{\vartheta!}.$$

Theorem 2.13. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=2}^{v-\mu+2} \sum_{\vartheta=1}^{\zeta-1} (\lambda)_{\zeta-\vartheta} (\lambda)_{\vartheta} \frac{(-1)^{\mu+\zeta+1}}{\zeta!} \binom{\zeta}{\vartheta} \binom{v-\zeta+2}{\mu} \alpha^{\zeta} \beta^{v-\mu+2-\zeta}$$

$$= \lambda \sum_{\vartheta=1}^{v+1} (-\alpha)^{\vartheta} \frac{(\lambda)_{\vartheta}}{\vartheta!} C_{\lambda}(v-\vartheta+2, \alpha, \beta-1).$$

Theorem 2.14. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=2}^{v-\mu+2} \sum_{\vartheta=1}^{\zeta-1} \mu (\lambda)_{\zeta-\vartheta} (\lambda)_{\vartheta} \binom{\zeta}{\vartheta} \frac{1}{\zeta!} \binom{v-\zeta+2}{\mu} (-\alpha)^{\zeta} \beta^{v-\mu+2-\zeta}$$

$$= \lambda^2 \sum_{\vartheta=1}^v C_{\lambda}(\vartheta, \alpha, 1+\beta) C_{\lambda}(v+1-\vartheta, \alpha, 1+\beta).$$

Theorem 2.15. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\sum_{\mu=0}^v \sum_{\zeta=2}^{v-2\mu+2} \sum_{\vartheta=1}^{\zeta-1} (\lambda)_{\zeta-\vartheta} (\lambda)_{\vartheta} (-\alpha)^{\zeta} \binom{\zeta}{\vartheta} \frac{1}{\zeta!} \binom{v-\mu-\zeta+2}{\mu} \beta^{v-2\mu+2-\zeta}$$

$$= \sum_{\zeta=2}^{v+2} \sum_{\vartheta=1}^{\zeta-1} \frac{(\lambda)_{\zeta-\vartheta} (\lambda)_{\vartheta}}{(\zeta-\vartheta)! \vartheta!} (-\alpha)^{\zeta} U_{v+2-\zeta}(\beta),$$

where $U_v(\beta)$ is as above.

Now, we will give the inverses of two proper Riordan arrays.

Lemma 2.16 For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\left(\frac{-1}{1-\beta\varpi}, \frac{-\varpi}{1-\beta\varpi} \right) = \left[(-1)^{k+1} \binom{v}{\mu} \beta^{v-\mu} \right].$$

Theorem 2.17. Let $v \geq 3$ be integer number. For $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$,

The inverse of $D = \left(\frac{-1}{1-\beta\varpi}, \frac{-\varpi}{1-\beta\varpi} \right)$ is in the form

$$D^{-1} = \left(-1 + \beta\varpi, \frac{-\varpi}{1-\beta\varpi} \right) = \left[\beta^{v-\mu} (-1)^{\mu} \left(\binom{v-2}{\mu-1} - \binom{v-1}{\mu-1} \right) \right].$$

Proof. By Lemma 2.16 and (10), since the inverse of $f(\varpi) = \frac{-\varpi}{1-\beta\varpi}$ is $f^{-1}(\varpi) = \frac{-\varpi}{1-\beta\varpi}$, we can write

$$D^{-1} = (g(\varpi), f(\varpi))^{-1} = \left(\frac{1}{g(f^{-1}(\varpi))}, f^{-1}(\varpi) \right) = \left(-1 + \beta\varpi, \frac{-\varpi}{1-\beta\varpi} \right).$$

Hence, (9) holds that

$$r_{v,\mu} = [\varpi^v]g(\varpi)(f(\varpi))^\mu = [\varpi^v](-1 + \beta\varpi) \left(\frac{-\varpi}{1-\beta\varpi} \right)^\mu.$$

With the help of (2), we have

$$\begin{aligned} r_{v,\mu} &= [\varpi^\mu] \frac{1}{\beta^\mu} (-1 + \beta\varpi) \left((-1)^\mu \sum_{v=0}^{\infty} \binom{v-1}{\mu-1} \beta^v \varpi^v \right) \\ &= [\varpi^v] \frac{1}{\beta^\mu} \left((-1)^{\mu+1} \sum_{v=0}^{\infty} \binom{v-1}{\mu-1} \beta^v \varpi^v + \beta (-1)^\mu \sum_{v=0}^{\infty} \binom{v-1}{\mu-1} \beta^v \varpi^{v+1} \right) \\ &= [\varpi^v] \frac{1}{\beta^\mu} \left((-1)^{\mu+1} \sum_{v=0}^{\infty} \binom{v-1}{\mu-1} \beta^v \varpi^v + \beta (-1)^\mu \sum_{v=1}^{\infty} \binom{v-2}{\mu-1} \beta^{v-1} \varpi^v \right) \\ &= [\varpi^v] \frac{1}{\beta^\mu} \left((-1)^{\mu+1} \sum_{v=1}^{\infty} \binom{v-1}{\mu-1} \beta^v \varpi^v + \beta (-1)^\mu \sum_{v=1}^{\infty} \binom{v-2}{\mu-1} \beta^{v-1} \varpi^v \right) \\ &= [\varpi^v] \frac{1}{\beta^\mu} \left((-1)^{\mu+1} \sum_{v=1}^{\infty} \binom{v-1}{\mu-1} \beta^v \varpi^v + \beta (-1)^\mu \sum_{v=1}^{\infty} \binom{v-2}{\mu-1} \beta^{v-1} \varpi^v \right) \\ &= [\varpi^v] \frac{1}{\beta^\mu} \sum_{v=1}^{\infty} \left((-1)^{\mu+1} \binom{v-1}{\mu-1} \beta^v + \beta^v (-1)^\mu \binom{v-2}{\mu-1} \right) \varpi^v \\ &= \beta^{v-\mu} (-1)^\mu \left(\binom{v-2}{\mu-1} - \binom{v-1}{\mu-1} \right), \end{aligned}$$

as claimed.

Lemma 2.18. For $v \in \mathbb{Z}^+$ $\lambda, \alpha, 0 \neq \beta \in \mathbb{R}$, we have

$$\left(\frac{-\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{\varpi(1 - \beta\varpi)}, \varpi \right) = [C_\lambda(v - \mu + 1, \alpha, \beta)].$$

Proof: Taking $g(\varpi) = \frac{-\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{\varpi(1 - \beta\varpi)}$, $f(\varpi) = \varpi$ in (9), by (4), we have

$$r_{v,\mu} = [\varpi^v] \frac{-\log_\lambda(1 - \alpha\varpi)}{\varpi(1 - \beta\varpi)} (\varpi)^\mu$$

$$= [\varpi^{\nu-\mu+1}] \frac{-\log_{\lambda}(1-\alpha\varpi)}{1-\beta\varpi} = [\varpi^{\nu-\mu+1}] \sum_{\nu=1}^{\infty} C_{\lambda}(\nu, \alpha, \beta) \varpi^{\nu},$$

as claimed.

Theorem 2.19. For $\nu \in \mathbb{Z}^+$ and $-1 \neq \beta, \alpha, \lambda \in \mathbb{R}$, we have

$$D^{-1} = \left(\frac{\varpi(\beta\varpi-1)}{\log_{\lambda}(1-\alpha\varpi)}, \varpi \right) = [(-1)^{\nu-\mu} \alpha^{\nu-\mu-1} \left(\alpha^{-1} \beta \frac{b_{\nu-\mu-1, \lambda}^{(a)}(0)}{\nu!} + \frac{b_{\nu-\mu, \lambda}^{(a)}(0)}{(\nu-\mu)!} \right)].$$

Proof: From (10), we write

$$D^{-1} = \left(\frac{1}{g(f^{-1}(\varpi))}, f^{-1}(\varpi) \right) = \left(\frac{\varpi(\beta\varpi-1)}{\log_{\lambda}(1-\alpha\varpi)}, \varpi \right).$$

Now let us determine the terms of this Riordan array. (8) and (9) hold that

$$\begin{aligned} r_{\nu, \mu} &= [\varpi^{\nu}] g(\varpi) (f(\varpi))^{\mu} = [t^{\nu-\mu-1}] \frac{\beta\varpi-1}{\log_{\lambda}(1-\alpha\varpi)} \\ &= [\varpi^{\nu-\mu-1}] \frac{-\beta}{\alpha} \frac{-\alpha\varpi}{\log_{\lambda}(1-\alpha\varpi)} + \frac{1}{\alpha} [\varpi^{\nu-\mu}] \frac{-\alpha\varpi}{\log_{\lambda}(1-\alpha\varpi)} \\ &= [\varpi^{\nu-\mu-1}] \frac{-\beta}{\alpha} \sum_{\nu=0}^{\infty} b_{\nu, \lambda}^{(1)}(0) \frac{(-\alpha)^{\nu}}{\nu!} \varpi^{\nu} + \frac{1}{\alpha} [\varpi^{\nu-\mu}] \sum_{\nu=0}^{\infty} b_{\nu, \lambda}^{(1)}(0) \frac{(-\alpha)^{\nu}}{\nu!} \varpi^{\nu} \\ &= \beta b_{\nu-\mu-1, \lambda}^{(1)}(0) \frac{(-1)^{\nu-\mu} \alpha^{\nu-\mu-2}}{\nu!} + b_{\nu-\mu, \lambda}^{(1)}(0) \frac{(-1)^{\nu-\mu} \alpha^{\nu-\mu-1}}{(\nu-\mu)!} \\ &= (-1)^{\nu-\mu} \alpha^{\nu-\mu-1} \left(\alpha^{-1} \beta \frac{b_{\nu-\mu-1, \lambda}^{(1)}(0)}{\nu!} + \frac{b_{\nu-\mu, \lambda}^{(1)}(0)}{(\nu-\mu)!} \right). \end{aligned}$$

Thus, we have the proof.

REFERENCES

- [1] Guo, D., Chu, W. Summation formulae involving multiple harmonic numbers. *Applicable Analysis and Discrete Mathematics*, 15(1), 201-212, 2021.
- [2] Conway, J.H. , Guy, R.K. *The book of numbers*, New York: Springer Science, 1995.
- [3] Benjamin, A.T., Preston, G.O., Quinn, J.J. A Stirling encounter with harmonic numbers, *Mathematics Magazine*, 75(2), 95-103, 2002.
- [4] Boyadzhiev, K.N. Harmonic number identities via Euler's transform, *Journal of Integer Sequences*, 12, Article 09.6.1, 2009.
- [5] Duran, Ö., Ömür, N., Koparal, S. generalized degenerate harmonic numbers and their applications with Riordan arrays, *Integers* 24, 1-12, 2024.
- [6] Kim, T., Kim, D., Kim, H., Jang, L. Degenerate poly-bernoulli numbers and polynomials. *Informatica* 31(3), 2–8, 2020.

- [7] Kim, T., Kim, D.S. On some degenerate differential and degenerate difference operators. Russian Journal of Mathematical Physics 29(1), 37-46, 2022.
- [8] Kim, D.S., Kim, T. A note on a new type of degenerate Bernoulli numbers. Russian Journal of Mathematical Physics, 27, 227-235, 2020.
- [9] Kim, T., Kim, D.S. On some degenerate differential and degenerate difference operators, Russ. J. Math. Phys. 29(1), 37-46, 2022.
- [10] Kim, T., Jang, L.-C., Kim, D.S., Kim, H.Y. Some identities on type degenerate Bernoulli polynomials of the second kind, Symmetry, 12(4), 1-9, 2020.
- [11] Roman, S. The umbral calculus. In Pure and Applied Mathematics; Academic Press Inc.: New York, NY, USA, 1984.
- [12] Cheon, G.-S., El-Mikkawy, M.E. Generalized harmonic numbers with Riordan arrays, Journal of Number Theory, 128, 413-425, 2008.
- [13] Shapiro, L.W. , Getu, S., Woan, W. -J., Woodson, L.C. The Riordan group, Discrete Applied Mathematics, 34(1-3), 229-239, 1991.
- [14] He, T.X. Matrix characterization of Riordan arrays, Linear Algebra Appl., 465, 15-42, 2015.
- [15] Sprugnoli, R. Riordan arrays and combinatorial sums, Discrete Mathematics, 132(1-3), 267-290, 1994.

ORGANİK BOYALI GÖZLÜK MERCEKLERİNDE UV KESİM DALGA BOYUNUN MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE TAHMİNİ

Öğrenci **Beyza MUHÇU**

Altınbaş Üniversitesi Optisyenlik Pr.,
240290308@ogr.altinbas.edu.tr

Öğr. Gör. Cihat GÜLERYÜZ

Altınbaş Üniversitesi Optisyenlik Pr.,
cihat.guleryuz@altinbas.edu.tr- 0000-0003-4812-8129

ÖZET

Bu çalışmada, kaplamasız organik gözlük merceklerinin renk, boyama sıcaklığı, boyama süresi ve dioptri özellikleri ile UV kesim dalga boyu arasındaki ilişkinin makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak modellenmesi amaçlanmıştır. Çalışma, optisyenlik laboratuvarı uygulamalarını fiziksel ölçüm ve veri bilimiyle birleştiren çok disiplinli bir ön çalışma olarak tasarlanmıştır. Kullanılan UV tester cihazının doğrudan absorbands veya geçirgenlik yüzdesi ölçmediği dikkate alınarak hedef değişken, yaklaşık 360–400 nm aralığındaki **UV kesim dalga boyu** olarak tanımlanmıştır.

Deneyisel sürecin planlanması amacıyla siyah, kahverengi, füme, pembe, sarı, kırmızı, mavi ve yeşil olmak üzere sekiz renk; 80, 90 ve 95 °C olmak üzere üç sıcaklık; 3, 6, 9, 12 ve 15 dakika olmak üzere beş boyama süresi ve her koşul için iki tekrar içeren 240 satırlık bir veri seti oluşturulmuştur. Renk değişkenleri one-hot encoding yöntemiyle sayısallaştırılmış ve aynı renk-sıcaklık-süre koşulundaki tekrarların eğitim ve test kümelerine bölünmesini önlemek amacıyla beş katlı GroupKFold çapraz doğrulama uygulanmıştır. Doğrusal regresyon, Ridge, Kernel Ridge, Support Vector Regression, Random Forest, Extra Trees ve Gradient Boosting algoritmaları MAE, RMSE ve R² metrikleriyle karşılaştırılmıştır.

En başarılı model RBF çekirdekli Support Vector Regression olmuş; 0,4548 nm MAE, 0,5710 nm RMSE ve 0,9893 R² değerleri elde edilmiştir. Özellik önemi analizinde boyama süresi en etkili değişken olarak belirlenmiş, bunu sıcaklık ve renk değişkenleri izlemiştir. Bulgular, uygun boyama koşullarının UV kesim performansına göre önceden tahmin edilmesine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte Fiziksel açıdan merceğin rengi ile boyama sıcaklığı ve süresi, boya yoğunluğunu değiştirerek merceğin UV geçirgenliğini ve UV kesim dalga boyunu etkilemektedir. Optisyenlik açısından elde edilen model, istenen renk tonu ve UV koruma düzeyi için uygun boyama koşullarının önceden tahmin edilmesine katkı sağlayabilecek bir karar destek yaklaşımı sunmaktadır. Böylece boyama işlemlerinin standartlaştırılması, deneme-yanılmanın azaltılması ve renkli merceklerin kalite kontrolünün daha sistematik yapılması mümkün olabilir.

Anahtar Kelimeler: Organik gözlük merceđi, UV kesim dalga boyu, mercek boyama, makine öğrenmesi, Support Vector Regression.

İNSAN KAYNAKLARI ANALİTİĞİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ TABANLI KARAR DESTEK SİSTEMLERİNE YÖNELİK KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE

Yüksek Lisans Öğrencisi Nurhayat BOZDAŞ AYDIN
Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
nurhayat.bozdas1@ogr.sakarya.edu.tr- ORCID: 0000-0002-6543-5887

Doç. Dr. Üyesi Tülay KORKUSUZ POLAT
Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
korkusuz@sakarya.edu.tr - ORCID: 0000-0001-6693-7873

ÖZET

Kurumsal verilerin hızla artması ve yapay zekâ teknolojilerindeki gelişmeler, insan kaynakları yönetiminde veri temelli karar verme yaklaşımlarının önemini artırmıştır. Endüstri mühendisliğinin önemli uygulama alanlarından biri olan insan kaynakları analitiği, analitik yöntemlerin iş gücü yönetimi süreçlerine entegre edilmesiyle örgütsel performansın artırılmasına ve stratejik kararların desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Bu kapsamda makine öğrenmesi; iş gücü planlaması, yetenek yönetimi, çalışan performansının değerlendirilmesi ve insan kaynakları süreçlerinin etkinliğinin artırılmasında önemli bir karar destek aracı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, makine öğrenmesi uygulamalarının insan kaynakları analitiğine entegrasyonu kavramsal bir bakış açısıyla ele alınmış ve karar destek sistemlerine sağlayabileceği katkılar değerlendirilmiştir. Araştırma, makine öğrenmesi, insan kaynakları analitiği, karar destek sistemleri ve veri temelli yönetim alanlarında yayımlanan güncel ulusal ve uluslararası çalışmaların kapsamlı bir literatür incelemesine dayanmaktadır. Elde edilen bulgular, makine öğrenmesi tekniklerinin çalışanlara ilişkin verilerin daha sistematik analiz edilmesini sağlayarak insan kaynakları kararlarının doğruluğunu, nesnelliğini ve tutarlılığını artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, bu teknolojilerin başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için yüksek kaliteli veri, açıklanabilir modeller, etik yönetim, veri gizliliğinin korunması ve insan denetiminin sürdürülmesi temel gereklilikler arasında yer almaktadır. Sonuç olarak, makine öğrenmesinin yönetsel kararların yerine geçen bir teknoloji olarak değil, karar vericileri destekleyen stratejik bir karar destek aracı olarak değerlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Önerilen kavramsal çerçevenin, insan kaynakları analitiği alanındaki gelecekteki uygulamalı araştırmalara teorik bir temel sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnsan Kaynakları Analitiği, Makine Öğrenmesi, Karar Destek Sistemleri, Endüstri Mühendisliği, Çalışan Performansı.

1. GİRİŞ

Dijitalleşme, kurumsal bilgi sistemleri ve bağlantılı iş süreçleri; çalışanların işe alımından gelişimine, performansından işten ayrılmasına kadar uzanan yaşam döngüsü boyunca önemli miktarda veri üretmektedir. Bu veri birikimi, insan kaynakları yönetiminin yalnızca kayıt tutan ve idari işlemleri yürüten bir işlev olmaktan çıkarak stratejik karar süreçlerine daha görünür biçimde katılmasını mümkün kılmaktadır. İnsan kaynakları analitiği, çalışanlara ve iş gücü süreçlerine ilişkin verilerin örgütsel amaçlarla bağlantılı olarak tanımlanması, analiz edilmesi ve karar vericilere anlamlı bilgiye dönüştürülmesi sürecidir. Bununla birlikte alanın gelişimi yalnızca daha fazla veri toplanmasına değil, verinin güvenilirliği ile analitik çıktının yönetsel eyleme dönüşmesi arasındaki bağın kurulmasına bağlıdır [1-4].

Makine öğrenmesi, geçmiş gözlemler içindeki örüntülerden yararlanarak sınıflandırma, tahmin, sıralama, kümelenme veya öneri üretme yeteneğine sahip yöntemler bütünüdür. İnsan kaynakları bağlamında bu yöntemler çalışan devir riskinin tahmini, aday havuzlarının önceliklendirilmesi, eğitim gereksinimlerinin belirlenmesi, performans göstergelerinin izlenmesi ve iş gücü planlamasının desteklenmesi gibi alanlarda kullanılabilmektedir. Ancak tahmin başarısı tek başına iyi bir insan kaynakları kararı anlamına gelmemektedir. Çalışanların yaşamını etkileyen kararlar bağlama duyarlıdır; tarihsel verilerdeki önyargılar, ölçüm hataları, az sayıda gözlem, değişen iş koşulları ve sonuçların çalışanlar tarafından nasıl algılandığı model çıktısının değerini doğrudan etkiler [5-10].

Endüstri mühendisliği açısından konu; insan, süreç, teknoloji ve örgütsel hedefleri birlikte ele alan sosyoteknik sistem tasarımı problemi olarak değerlendirilebilir. Süreçlerin ölçülmesi, değişkenliğin yönetilmesi, kaynakların etkin kullanımı, performans göstergelerinin tasarlanması ve karar seçeneklerinin karşılaştırılması endüstri mühendisliğinin temel yetkinlikleri arasındadır. İnsan kaynakları analitiği de benzer biçimde yalnızca bir algoritma seçimi değil; problemin tanımlanması, verinin hazırlanması, modelin doğrulanması, karar arayüzünün tasarlanması, risklerin izlenmesi ve geri bildirimle sistemin geliştirilmesi aşamalarından oluşur. Bu nedenle makine öğrenmesi tabanlı insan kaynakları uygulamalarının, örgütsel süreçlerden bağımsız bir teknoloji yatırımı olarak değil, uçtan uca bir karar destek sistemi olarak tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, makine öğrenmesinin insan kaynakları analitiğine entegrasyonunu kavramsal olarak incelemek ve insan merkezli bir karar destek çerçevesi önermektir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle insan kaynakları analitiği, makine öğrenmesi ve karar destek sistemleri arasındaki ilişki açıklanmış; daha sonra başlıca kullanım alanları, beklenen faydalar ve uygulama riskleri değerlendirilmiştir. Son bölümde ise stratejik problem tanımından sürekli izlemeye kadar uzanan altı bileşenli bir çerçeve sunulmuştur. Çalışmanın temel savı, makine öğrenmesinin insan kararını ortadan kaldıran bir otomasyon aracı olarak değil; belirsizliği görünür kılan, alternatifleri karşılaştırmayı kolaylaştıran ve karar kalitesini destekleyen bir sistem bileşeni olarak konumlandırılması gerektiğidir.

2. KAVRAMSAL VE YÖNTEMSSEL ÇERÇEVE

2.1. İnsan Kaynakları Analitiği

İnsan kaynakları analitiği literatüründe birbirine yakın olmakla birlikte farklı vurgu noktalarına sahip kavramlar kullanılmaktadır. HR analytics, people analytics, workforce analytics ve human capital analytics terimleri kimi çalışmalarda eş anlamlı, kimi çalışmalarda ise kapsam bakımından farklı kabul edilmektedir. Ortak payda, çalışanlara ilişkin verilerin örgütsel sorunları anlamak ve kararları desteklemek amacıyla kullanılmasıdır. Marler ve Boudreau [1], alanı insan kaynakları uygulamaları ile örgütsel sonuçlar arasındaki ilişkileri kanıta dayalı biçimde inceleyen bir yaklaşım olarak ele alırken; Tursunbayeva ve diğerleri [2] people analytics kavramının disiplinler arası niteliğine ve değer önermelerinin çeşitliliğine dikkat çekmektedir. Bu çerçevede analitik, yalnızca raporlama faaliyetinden daha geniştir; stratejik bir soruya yanıt üretmek üzere veri, yöntem, yorum ve eylemi bir araya getirir.

Analitik olgunluk çoğunlukla betimleyici, tanılayıcı, tahminleyici ve yönlendirici düzeyler üzerinden açıklanmaktadır. Betimleyici analiz, iş gücünde ne olduğunu; tanılayıcı analiz neden gerçekleştiğini; tahminleyici analiz gelecekte ne olabileceğini; yönlendirici analiz ise belirli hedefler altında hangi eylemin tercih edilebileceğini araştırır [3,4]. Makine öğrenmesi özellikle tahminleyici ve öneri üretmeye dönük aşamalarda önemli bir rol üstlenebilir. Bununla birlikte üst düzey analitik, önceki düzeylerin yerine geçmez. Örneğin çalışan devrini tahmin eden bir modelin anlamlı olabilmesi için çalışan sayısı, hareketler, organizasyon yapısı, işe devam ve ücret verilerinin tanımlarının tutarlı olması; temel raporların güvenilir üretilmesi gerekir. Veri sözlüğü, ortak gösterge tanımları ve izlenebilir veri akışı bu nedenle analitik kapasitenin ön koşuludur.

Minbaeva [3], güvenilir insan sermayesi analitiği için veri kalitesi, analitik yeterlilik ve örgütün bulgulardan hareket etme kapasitesini birlikte ele almaktadır. Bu yaklaşım, teknik olarak başarılı bir modelin neden her zaman örgütsel değer oluşturmadığını açıklamaktadır. Model çıktısının doğru kişiye, doğru zamanda ve kararın bağlamını gösterecek biçimde ulaşmaması; yöneticilerin çıktıyı yorumlayacak yetkinliklere sahip olmaması veya önerilen müdahalenin uygulanabilir olmaması halinde analitik değer üretimi sınırlı kalır. İnsan kaynakları analitiğinin başarısı bu nedenle model doğruluğu kadar karar mimarisi, sorumluluk dağılımı, süreç sahipliği ve değişim yönetimiyle ilgilidir.

2.2. Makine Öğrenmesi ve Karar Destek Sistemleri

Makine öğrenmesi yöntemleri genel olarak denetimli ve denetimsiz öğrenme biçiminde sınıflandırılabilir. Denetimli öğrenmede model, geçmişte sonucu bilinen örneklerden hareketle yeni gözlemler için sonuç tahmini üretir. Lojistik regresyon, karar ağaçları, rassal orman, destek vektör makineleri ve gradyan artırma yöntemleri çalışan devri, performans düzeyi veya aday uygunluğu gibi sınıflandırma problemlerinde kullanılabilir. Doğrusal ve ağaç tabanlı regresyon yöntemleri performans puanı, devamsızlık günü veya iş gücü talebi gibi sayısal sonuçların tahmininde değerlendirilebilir. Denetimsiz öğrenmede ise önceden tanımlanmış bir sonuç değişkeni bulunmadan benzer gözlemlerin kümelenmesi, sıra dışı örüntülerin belirlenmesi veya metinlerdeki temaların çıkarılması amaçlanır. Çalışan segmentasyonu ve açık uçlu geri bildirimlerin konu analizi bu gruba örnek verilebilir.

İnsan kaynakları kararlarında model performansı, tek bir doğruluk oranına indirgenmemelidir. Sınıflandırma problemlerinde duyarlılık, özgüllük, kesinlik, F1 skoru ve ROC-AUC gibi ölçütler; tahminlerin olasılık anlamı taşıdığı durumlarda kalibrasyon; sayısal tahminlerde ortalama mutlak hata veya hata kareleri ortalaması birlikte incelenebilir. Daha önemlisi, yanlış pozitif ve yanlış negatif kararların örgütsel ve bireysel maliyetleri açıkça tanımlanmalıdır. Örneğin yüksek devir riski atanan ancak ayrılma niyeti olmayan bir çalışanın etiketlenmesi güven ilişkisini zedeleyebilir; gerçek riskin gözden kaçırılması ise zamanında destek sunulmasını engelleyebilir. Bu nedenle model eşiği, yalnızca istatistiksel başarıya göre değil, kararın amacı ve hata maliyetleri dikkate alınarak belirlenmelidir.

Karar destek sistemi, veriyi ve analitik modelleri karar vericinin değerlendirmesiyle bir araya getiren etkileşimli bir yapıdır. Bu bakışta model, nihai kararı veren unsur değildir; olasılık, örüntü, belirsizlik ve alternatif senaryolar üretir. Shrestha ve diğerleri [6], yapay zekâ ile insan kararının farklı biçimlerde birleştirilebileceğini; uygun yapının kararın hızı, yorumlanabilirliği, sonuçların geri döndürülebilirliği ve sorumluluk gereksinimine bağlı olduğunu vurgulamaktadır. İnsan kaynakları kararlarının çalışan hakları, kariyer fırsatları ve gelir üzerinde doğrudan etkili olması, insan denetiminin ve gerekçelendirme mekanizmalarının güçlü tutulmasını gerektirir. Sistem, yöneticinin sezgisini doğrulayan bir araç olmak yerine alternatif açıklamaları görünür kılmalı ve gerektiğinde model önerisine karşı çıkmayı mümkün hale getirmelidir.

Makine öğrenmesi çıktılarının açıklanabilirliği iki düzeyde ele alınabilir. Küresel açıklama, modelin genel olarak hangi değişkenlerden ve ilişkilerden yararlandığını; yerel açıklama ise belirli bir çalışan veya aday için üretilen sonucun hangi unsurlardan etkilendiğini gösterir. Bununla birlikte teknik açıklama ile yönetsel gerekçe aynı şey değildir. Bir değişkenin modele yüksek katkı sağlaması, o değişkenin kararda kullanılmasının etik, hukuki veya nedensel olarak uygun olduğunu göstermez. Bu nedenle açıklamalar; veri kaynağı, model belirsizliği, olası alternatifler, kullanım sınırları ve insan değerlendirmesinin sonucu ile birlikte sunulmalıdır [8-11].

2.3. Araştırma Yöntemi

Bu çalışma, kavramsal literatür incelemesi ve tematik sentez yaklaşımıyla hazırlanmıştır. İnsan kaynakları analitiği, people analytics, makine öğrenmesi, insan kaynakları yönetiminde yapay zekâ, algoritmik karar verme, açıklanabilir yapay zekâ, adalet, veri gizliliği ve sorumlu yapay zekâ kavramları ekseninde ulusal ve uluslararası akademik çalışmalar değerlendirilmiştir. Alanın kuramsal gelişimini açıklayan temel çalışmalar ile 2022-2026 döneminde yayımlanan güncel sistematik incelemeler ve Türkiye bağlamındaki araştırmalar birlikte ele alınmıştır. Ayrıca istihdam ilişkilerinde yapay zekâ kullanımına ilişkin güncel yönetim beklentilerini göstermek amacıyla Avrupa Birliği Yapay Zekâ Tüzüğü incelenmiştir [18].

İnceleme üç aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada insan kaynakları analitiğinin tanımı, analitik olgunluk ve örgütsel değer üretimiyle ilgili kavramlar sınıflandırılmıştır. İkinci aşamada makine öğrenmesinin insan kaynakları süreçlerindeki kullanım alanları ve bu uygulamalarda bildirilen teknik, örgütsel ve etik sorunlar karşılaştırılmıştır. Üçüncü aşamada ortak temalar; stratejik uyum, veri yönetimi, model doğrulama, açıklanabilirlik ve adalet, insan denetimi ile

sürekli izleme başlıkları altında bir araya getirilmiştir. Bu temalar arasındaki ardışık ve döngüsel ilişkilerden hareketle önerilen kavramsal çerçeve geliştirilmiştir.

Çalışma sistematik derleme veya bibliyometrik analiz iddiası taşımamaktadır. Dolayısıyla yayımlanmış tüm çalışmaları kapsama, etki büyüklüklerini birleştirme veya belirli bir veri tabanında tekrarlanabilir arama protokolü sunma amacı bulunmamaktadır. Ayrıca önerilen çerçeve birincil örgütsel veriyle test edilmemiştir. Bu sınırlılıklar nedeniyle bulgular, nedensel ve genellenebilir sonuçlardan çok alanın temel sorunlarını yapılandıran ve gelecekteki uygulamalı araştırmalar için sınanabilir bir tasarım mantığı sunan kavramsal değerlendirmeler olarak yorumlanmalıdır.

3. MAKİNE ÖĞRENMESİNİN İNSAN KAYNAKLARI ANALİTİĞİNDE KULLANIM ALANLARI

3.1. İş Gücü Planlaması ve Çalışan Devir Riski

İş gücü planlaması, gelecekte ihtiyaç duyulacak çalışan sayısı ve yetkinlik bileşiminin iş hedefleriyle uyumlu biçimde belirlenmesini amaçlar. Geçmiş talep, üretim hacmi, vardiya düzeni, iş yükü, devamsızlık, çalışan hareketleri ve yetkinlik envanteri gibi değişkenler kullanılarak iş gücü ihtiyacı için tahmin modelleri oluşturulabilir. Makine öğrenmesi, doğrusal olmayan ilişkileri ve değişkenler arası etkileşimleri yakalama potansiyeli sayesinde klasik yöntemleri tamamlayabilir. Ancak olağan dışı dönemler, organizasyon değişiklikleri veya yeni iş modelleri geçmiş örüntüleri geçersiz kılabilir. Bu nedenle tahminler tek sayı yerine senaryo aralıklarıyla sunulmalı; yöneticiler kapasite, bütçe ve hizmet düzeyi kısıtları altında alternatifleri değerlendirebilmelidir.

Çalışan devri analitiğinde model, belirli bir zaman aralığında ayrılma olasılığı yüksek çalışanları veya ekipleri belirlemeyi amaçlayabilir. İşe giriş tarihi, görev değişiklikleri, ücret konumu, yönetici değişimi, fazla çalışma, eğitim katılımı, işe devam ve çalışan deneyimi göstergeleri kullanılabilir. Böyle bir modelin en önemli değeri, cezalandırıcı bir sınıflandırma yapmak değil, çalışma koşullarındaki iyileştirme fırsatlarını erken fark etmektir. Risk puanının çalışanın bağlılığına ilişkin kesin bir yargı gibi ele alınması, yanlış etiketleme ve güven kaybı yaratır. Ayrıca ücret veya terfi gibi müdahalelerin gerçekten ayrılma davranışını değiştirip değiştirmediği yalnızca tahmin modeliyle belirlenemez; nedensel değerlendirme, deneysel veya yarı deneysel tasarımlar ve nitel geri bildirim gerekir [5,19].

Toplulaştırılmış ekip düzeyindeki analizler, bireysel etiketlemeye göre daha düşük mahremiyet riskiyle süreç sorunlarını gösterebilir. Örneğin belirli vardiyalarda veya yönetici geçişlerinden sonra artan devamsızlık ve ayrılma oranları, organizasyon tasarımı veya iş yükü düzenlemesine ilişkin sinyal üretebilir. Bu durumda model çıktısı, insan kaynakları iş ortağı ve ilgili yöneticinin saha bilgisiyle birlikte değerlendirilmelidir. Müdahalelerin ardından yalnızca ayrılma oranı değil, çalışan deneyimi, iş yükü dengesi, eşitlik ve istenmeyen sonuçlar da izlenmelidir.

3.2. İşe Alım, Seçme ve Yetenek Yönetimi

İşe alım süreçlerinde makine öğrenmesi özgeçmişlerin sınıflandırılması, beceri eşleştirme, ilan metinlerinin analizi, aday havuzunun önceliklendirilmesi ve mülakat planlaması gibi görevleri

destekleyebilir. Büyük başvuru hacimlerinde tekrarlanan işlemlerin azaltılması ve aday bilgilerinin ortak ölçütlerle değerlendirilmesi önemli bir fayda sağlayabilir. Bununla birlikte geçmişte başarılı kabul edilen çalışanların özelliklerinden öğrenen bir model, örgütün önceki tercihlerini ve eşitsizliklerini yeniden üretebilir. Cinsiyet, yaş veya engellilik gibi doğrudan değişkenlerin çıkarılması yeterli değildir; eğitim kurumu, posta kodu, kariyer kesintisi veya sözcük kullanımı gibi vekil değişkenler korunan özelliklerle ilişkili olabilir [8].

İşe alım modelinin hedef değişkeni de eleştirel biçimde değerlendirilmelidir. Geçmiş performans puanı, terfi veya yöneticinin 'başarılı' etiketi ölçüm hatası ve öznel önyargı içerebilir. Ayrıca mevcut çalışanlara benzeyen adayları seçmek kısa vadede tahmin başarısını artırırken çeşitliliği ve yenilik kapasitesini azaltabilir. Bu nedenle model geliştirilirken görev analiziyle bağlantılı, ölçülebilir ve işle ilgili kriterler kullanılmalı; alt gruplar bakımından hata oranları karşılaştırılmalı; adaylara değerlendirmenin niteliği hakkında anlaşılır bilgi verilmeli ve anlamlı insan incelemesi sağlanmalıdır. Otomatik eleme yerine, modelin insan değerlendiricinin dikkatini ilgili yeterliliklere yönlendirdiği destekleyici kullanım biçimleri tercih edilmelidir.

Yetenek yönetimi ve yedekleme planlarında çalışanların beceri profilleri, deneyimleri, eğitim geçmişleri ve kariyer tercihleri üzerinden öneri sistemleri geliştirilebilir. Bu sistemler açık pozisyonlara veya gelişim fırsatlarına erişimi genişletebilir; ancak yalnızca geçmiş görevleri temel alan öneriler, çalışanı mevcut kariyer yoluna kilitleyebilir. Çalışanın kendi hedeflerini sisteme girebilmesi, önerileri reddedebilmesi ve profil bilgisini düzeltebilmesi önemlidir. Yetenek kararlarının tek bir potansiyel puanına indirgenmesi yerine beceri kanıtları, öğrenme çevikliği, görev gereksinimleri ve yöneticiler arası kalibrasyon birlikte kullanılmalıdır.

3.3. Performans Yönetimi, Öğrenme ve Gelişim

Çalışan performansı çok boyutlu ve bağlama bağımlı bir yapıdır. Üretim miktarı, kalite, hedef gerçekleştirme, müşteri geri bildirimi, işe devam, ekip çalışması ve yetkinlik değerlendirmeleri gibi göstergeler performansın farklı yönlerini temsil edebilir. Makine öğrenmesi, bu göstergeler arasındaki karmaşık ilişkileri inceleyerek performans değişimlerini öngörmeye veya gelişim gereksinimlerini belirlemede kullanılabilir. Bununla birlikte ölçülmesi kolay faaliyetlerin aşırı ağırlık kazanması, ölçülmesi zor katkıların görünmez kalmasına yol açabilir. Örneğin çalışanların birbirine destek olması, bilgi paylaşımı veya kriz anındaki koordinasyon nicel kayıtlara tam yansımayabilir. Bu nedenle model çıktıları, performansın tek ve kesin ölçümü değil, değerlendirme görüşmesini zenginleştiren ek bir kanıt olarak kullanılmalıdır.

Dijital izleme verilerinin performans değerlendirmesine dâhil edilmesi özel riskler taşır. E-posta sıklığı, çevrimiçi olma süresi, klavye hareketleri veya konum verileri üretkenlikle doğrudan eşdeğer değildir ve çalışan mahremiyetini zedeleyebilir. Amaçla orantılı olmayan veri toplama, gözetim algısını güçlendirerek çalışan davranışlarını ve güveni olumsuz etkileyebilir [9,10]. Bu nedenle hangi verinin neden toplandığı, ne kadar süre saklanacağı, kimlerin erişeceği ve hangi kararlarda kullanılmayacağı açık biçimde belirlenmelidir. Performans analitiğinde veri minimizasyonu, görevle ilgililik ve çalışanın açıklama yapabilmesi temel tasarım ilkeleri olmalıdır.

Öğrenme ve gelişim alanında öneri sistemleri, beceri boşluklarını eğitim içerikleriyle eşleştirebilir ve kişiselleştirilmiş öğrenme yolları sunabilir. Eğitim tamamlama, sınav sonucu ve iş başındaki uygulama göstergeleri kullanılarak programların etkinliği değerlendirilebilir. Ancak yalnızca tamamlama oranına odaklanmak gerçek öğrenme transferini göstermeyebilir. Eğitim önerilerinin çalışanın kariyer hedefleri, yöneticinin gözlemleri ve görevde beklenen değişimle ilişkilendirilmesi gerekir. Modelin bazı çalışanlara sürekli temel düzey içerik önermesi, gelişim fırsatlarında eşitsizliği pekiştirebilir; bu nedenle öneri dağılımları ve erişim sonuçları düzenli olarak denetlenmelidir.

3.4. Çalışan Deneyimi ve Örgütsel Değer

Çalışan deneyimi analitiği, anketler, açık uçlu yorumlar, insan kaynakları hizmet talepleri ve toplulaştırılmış iş süreci verilerinden yararlanarak çalışanların ihtiyaçlarını anlamayı amaçlar. Doğal dil işleme yöntemleri metinlerdeki konu ve duygu örüntülerini belirleyebilir; ancak dilin bağlamı, ironi, kültürel farklılıklar ve az temsil edilen gruplar yorum hatasına açıktır. Bireysel çalışanların duygularını tahmin etmeye çalışmak yerine, yeterli büyüklükte anonim gruplarda ortak süreç sorunlarını belirlemek daha uygun olabilir. Nitel görüşmeler ve odak grupları, modelin işaret ettiği örüntülerin anlamını doğrulamak için kullanılmalıdır.

Analitik yatırımının örgütsel değeri, yalnızca model performansı ile değil, daha iyi kararlar ve sürdürülebilir sonuçlarla ölçülmelidir. Tambe ve diğerleri [5], insan kaynakları bağlamındaki veri ve nedensellik sorunlarının dikkate alınmasını; çalışanların yapay zekâ sistemlerinin tasarımına katkı sunmasını önermektedir. Güncel incelemeler de insan kaynakları yöneticilerinin teknik bilgiyi sosyal ve yönetsel yetkinliklerle birleştirmesi gerektiğini göstermektedir [11-13]. Bu nedenle başarı göstergeleri; karar süresindeki azalma, hizmet kalitesi, çalışan deneyimi, adalet algısı, çeşitlilik, müdahale etkisi ve itirazların çözümü gibi çoklu sonuçları kapsamalıdır.

Türkiye bağlamındaki çalışmalar, insan kaynakları yönetiminde yapay zekâyâ yönelik ilginin arttığını; örgütsel hazırlık, algılanan yarar, üst yönetim desteği ve insan kaynakları biriminin yetkinliğinin benimsemeyi etkilediğini göstermektedir [14-17,20]. Buna karşılık veri güvenliği, teknik karmaşıklık, önyargı, şeffaflık eksikliği ve çalışan direnci önemli engellerdir. Sakarya ili imalat sektörüne odaklanan güncel bir vaka analizi de zaman tasarrufu ve karar desteği gibi faydalarla birlikte veri güvenliği, algoritmik önyargı, şeffaflık ve insan denetimi konularını öne çıkarmaktadır [20]. Bu bulgular, teknolojinin örgütsel bağlama uyarlanması ve çalışanlarla güven temelli iletişim kurulmasının önemini desteklemektedir.

Çizelge 1. İnsan kaynakları analitiğinde makine öğrenmesi kullanım alanları ve yönetim gereksinimleri

İK süreci	Makine öğrenmesi kullanımı	Karar desteği çıktısı	Başlıca risk ve insan kontrolü
İş gücü planlaması ve çalışan devri	Talep tahmini, sınıflandırma, risk puanlama ve senaryo analizi	Kapasite ihtiyacı, erken uyarı ve müdahale önceliği	Tarihsel önyargı ve yanlış etiketleme; cezalandırıcı olmayan kullanım, nedensel doğrulama ve ekip düzeyi yorum
İşe alım ve seçme	Metin analizi, beceri eşleştirme, sıralama ve aday havuzu önceliklendirme	İlgili yeterliliklerin görünür kılınması ve işlem süresinin azaltılması	Vekil değişkenlerle ayrımcılık; görevle ilgililik, alt grup denetimi, açıklama ve insan incelemesi
Performans yönetimi	Sınıflandırma, regresyon, örüntü ve sapma analizi	Gelişim görüşmesi için ek kanıt ve performans eğilimi	Gözetim, bağlam kaybı ve tek puana indirgeme; çoklu kanıt, çalışan açıklaması ve itiraz mekanizması
Öğrenme ve yetenek	Öneri sistemi, beceri çıkarımı ve çalışan segmentasyonu	Kişiselleştirilmiş öğrenme yolu, iç mobilite ve yedekleme desteği	Kendini doğrulayan etiketler ve fırsat eşitsizliği; çalışan tercihi, periyodik gözden geçirme ve erişim denetimi
Çalışan deneyimi	Duygu/konu analizi, hizmet talebi sınıflandırma ve süreç örüntüsü analizi	Ortak sorun alanları, hizmet iyileştirme ve erken sinyal	Mahremiyet ve yanlış yorum; anonim toplulaştırma, amaçla sınırlılık ve nitel doğrulama

4. ÖNERİLEN KAVRAMSAL ÇERÇEVE



Görsel 1. İnsan kaynakları analitiğinde makine öğrenmesi tabanlı karar desteği için kavramsal çerçeve

4.1. Çerçevenin Bileşenleri

Literatür sentezi sonucunda, makine öğrenmesi tabanlı insan kaynakları karar desteği için altı bileşenli ve döngüsel bir çerçeve önerilmektedir. Çerçevenin başlangıç noktası algoritma veya mevcut veri değil, stratejik problem ve karar ölçütleridir. Hangi kararın destekleneceği, kararın sahibi, etkilenen paydaşlar, beklenen değer, kabul edilebilir hata düzeyi ve geri döndürülebilirlik açıkça tanımlanmalıdır. Örneğin 'çalışan devrini tahmin etmek' tek başına yeterli bir amaç değildir. Model çıktısının hangi müdahaleyi tetikleyeceği, müdahalenin çalışana sağlayacağı yarar ve yanlış risk etiketinin olası zararı baştan belirlenmelidir.

İkinci bileşen veri temeli ve veri yönetimidir. Değişkenlerin tanımları, veri kaynakları, eksik ve hatalı kayıtlar, temsil gücü, erişim yetkileri, saklama süresi ve kullanım amacı dokümente edilmelidir. Geçmiş verinin karar süreçlerindeki eşitsizlikleri içerip içermediği incelenmeli; yasal olarak kullanılabilir bir verinin etik olarak uygun olmayabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Veri minimizasyonu ilkesi gereği yalnızca karar amacı için gerekli veriler kullanılmalı, ikincil kullanımlar için yeni değerlendirme yapılmalıdır.

Üçüncü bileşen model geliştirme ve doğrulamadır. Model seçimi, problemin niteliği ve karar ortamıyla uyumlu olmalıdır. Daha karmaşık bir algoritma küçük bir başarı artışı sağlarken açıklanabilirliği önemli ölçüde azaltıyorsa, daha yalın model tercih edilebilir. Eğitim ve test ayrımı, zaman temelli doğrulama, aşırı uyum kontrolü, kalibrasyon, hata maliyetleri ve duyarlılık analizleri raporlanmalıdır. Modelin farklı alt gruplardaki performansı karşılaştırılmalı; dağılım değiştiğinde başarı kaybını belirleyecek izleme göstergeleri tanımlanmalıdır.

Dördüncü bileşen açıklanabilirlik, adalet ve gizlilik. Modelin hangi amaçla kullanıldığı, temel veri kategorileri, sonuçların nasıl yorumlanacağı ve kullanım sınırları ilgili paydaşlara anlaşılır biçimde açıklanmalıdır. Adalet tek bir matematiksel ölçüte indirgenemez; seçilen ölçüt örgütün bağlamı, kararın niteliği ve paydaş beklentileriyle birlikte değerlendirilmelidir. Kişisel verilerin korunması, yetkisiz erişimin önlenmesi, anonimleştirme veya toplulaştırma gibi teknikler sistem tasarımının sonradan eklenen değil, başlangıçtan itibaren yer alan unsurları olmalıdır.

Beşinci bileşen insan merkezli karar arayüzüdür. Karar vericiye yalnızca kırmızı-sarı-yeşil bir skor göstermek, belirsizliği gizleyebilir ve otomasyon yanlılığını artırabilir. Arayüz; tahmin olasılığını, güven aralığını veya belirsizlik düzeyini, sonuca katkı veren başlıca unsurları, benzer örneklerdeki hata oranlarını ve alternatif eylemleri birlikte göstermelidir. Nihai kararın kim tarafından verildiği ve model önerisinden sapıldığında gerekçenin nasıl kaydedileceği belirlenmelidir. Çalışan veya adayın yanlış veriyi düzeltme ve anlamlı itirazda bulunma imkânı olmalıdır.

Altıncı bileşen izleme, geri bildirim ve örgütsel öğrenmedir. Modelin teknik performansı kadar kararların gerçek etkileri de izlenmelidir. Müdahaleler hedeflenen sonucu iyileştiriyor mu, belirli gruplar üzerinde orantısız etki oluşturuyor mu, çalışan güveni ve yöneticilerin karar kalitesi nasıl değişiyor soruları düzenli olarak değerlendirilmelidir. Model kayması, veri tanımlarındaki değişim, organizasyon yeniden yapılanması veya yeni yasal düzenlemeler yeniden doğrulama gerektirebilir. Böylece süreç doğrusal bir proje olmaktan çıkar; sonuçlardan öğrenen, gerektiğinde modeli sınırlandıran veya durduran yönetim döngüsüne dönüşür.

4.2. Uygulama İlkeleri ve Yönetişim

Önerilen çerçevenin uygulanmasında ilk ilke amaçla sınırlılıktır. Aynı veri kümesi teknik olarak farklı tahminler için kullanılabilse de çalışanların verileri başlangıçtaki toplama amacı dışında otomatik biçimde kullanılmamalıdır. Her yeni kullanım senaryosu için gereklilik, orantılılık ve olası zararlar yeniden değerlendirilmelidir. İkinci ilke insan sorumluluğudur. 'Model böyle önerdi' ifadesi karar sorumluluğunu ortadan kaldırmamalıdır. Karar sahibi, modelin sınırlarını bilmeli, gerekirse ek kanıt talep etmeli ve çalışana karşı kararın gerekçesini açıklayabilmelidir.

Üçüncü ilke katılımcı tasarımıdır. İnsan kaynakları, bilgi teknolojileri, hukuk, veri bilimi, iş birimleri ve çalışan temsilcileri sistemin farklı aşamalarına dâhil edilmelidir. Bujold ve diğerlerinin [11] sorumlu yapay zekâ literatürüne ilişkin incelemesi; önyargı, adalet algısı, güven, gizlilik, açıklanabilirlik ve insan rolünün birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir. Çalışanların yalnızca sistem hakkında bilgilendirilmesi değil, hangi sonuçların adil ve yararlı kabul edildiğine ilişkin tasarım sürecine katkı sunması, teknolojinin meşruiyetini güçlendirebilir.

Dördüncü ilke beceri ve rol tasarımıdır. İnsan kaynakları profesyonellerinin veri okuryazarlığı, temel model performansı, nedensellik, etik riskler ve açıklanabilirlik konularında yetkinleşmesi gerekir. Buna karşılık veri bilimcilerin de iş hukuku, çalışan ilişkileri ve performans yönetiminin bağlamsal özelliklerini anlaması önemlidir. Deepa ve diğerleri [12], yapay zekâ odaklı teknolojilerin insan kaynakları yöneticileri için bilişsel, sosyal ve insan sermayesi

yetkinliklerini birlikte gerektirdiğini vurgulamaktadır. Bu nedenle analitik ekipleri teknik ve sosyal uzmanlıkları birleştiren çapraz fonksiyonlu yapılar olarak kurulmalıdır.

Beşinci ilke risk temelli yönetişimdir. Avrupa Birliği Yapay Zekâ Tüzüğü, işe alım, terfî, iş ilişkisinin sona erdirilmesi, görev tahsisi ve çalışanların izlenmesi gibi alanlardaki bazı yapay zekâ sistemlerini yüksek riskli olarak sınıflandırmakta; risk yönetimi, veri yönetişimi, teknik kayıt, şeffaflık, insan gözetimi, doğruluk ve güvenlik yükümlülükleri öngörmektedir [18]. Türkiye'deki kuruluşlar bakımından düzenlemenin doğrudan uygulanabilirliği somut duruma göre değişebilse de bu yaklaşım, çalışanları etkileyen analitik sistemlerin basit bir yazılım ürünü değil, yaşam döngüsü boyunca yönetilmesi gereken yüksek etkili sistemler olduğunu göstermesi açısından önemlidir.

Son ilke ölçülebilir değer ve durdurma kriteridir. Pilot uygulamadan önce teknik, yönetsel ve çalışan odaklı başarı göstergeleri belirlenmeli; sistemin hangi koşullarda yeniden eğitileceği, kullanımının sınırlandırılacağı veya tamamen durdurulacağı tanımlanmalıdır. Örneğin alt grup hata farklarının belirli bir eşiği aşması, veri akışında kritik bir değişiklik, açıklanamayacak performans düşüşü veya çalışan şikâyetlerinde artış durdurma sinyali olabilir. Böylece yönetişim yalnızca başlangıç onayına değil, sürekli sorumluluk ve geri çağırma kapasitesine dayanır.

5. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Literatür incelemesi, makine öğrenmesinin insan kaynakları analitiğinde önemli bir potansiyel taşıdığını, ancak bu potansiyelin bağlamdan bağımsız ve otomatik biçimde gerçekleşmediğini göstermektedir. Kullanım alanları iş gücü tahmini ve çalışan devrinden işe alım, performans, öğrenme, yetenek ve çalışan deneyimine kadar genişlemektedir. Yöntemler büyük veri kümelerinde örüntüleri belirleyebilir, karar vericinin dikkatini kritik alanlara yönlerebilir ve farklı senaryoların karşılaştırılmasını kolaylaştırabilir. Buna karşın ölçüm hataları, tarihsel önyargı, yetersiz örneklem, model kayması, açıklanabilirlik sorunu, mahremiyet ihlali ve otomasyon yanlılığı yanlış veya adaletsiz sonuçlar üretebilir [5,8-11,19].

Çalışmanın önemli bulgularından biri, analitik değer zincirinin en zayıf halkası kadar güçlü olduğudur. Güvenilir olmayan veriler gelişmiş bir modelle telafi edilemez; yüksek tahmin başarısı bağlama uygun olmayan bir hedef değişkenini meşru hale getirmez; iyi bir model yanlış tasarlanmış karar arayüzünde hatalı kullanılabilir. Bu nedenle örgütler teknoloji edinimine başlamadan önce problemin niteliğini, veri olgunluğunu, yönetişim kapasitesini ve müdahale seçeneklerini değerlendirmelidir. Özellikle çalışanları bireysel olarak sınıflandıran uygulamalarda zarar olasılığı, toplulaştırılmış süreç analizlerine göre daha yüksektir ve daha sıkı kontrol gerektirir.

İkinci bulgu, insan denetiminin yalnızca nihai ekranda bir onay düğmesine indirgenemeyeceğidir. Anlamlı insan denetimi; problemin seçimi, hedef değişkenin tanımı, veri kapsamı, performans ölçütleri, adalet değerlendirmesi, kararın gerekçelendirilmesi ve itirazların çözümü boyunca sürmelidir. İnsan karar verici model çıktısını eleştirebilecek bilgiye, zamana ve yetkiye sahip değilse biçimsel bir onay mekanizması otomasyon yanlılığını önlemeyecektir. Bu nedenle insan ve makine arasındaki görev paylaşımı, kararın etkisi ve geri döndürülebilirliği dikkate alınarak açıkça tasarlanmalıdır.

Üçüncü bulgu, insan kaynakları analitiğinin disiplinler arası bir yönetim gerektirmesidir. Endüstri mühendisliği süreç ve sistem tasarımı; veri bilimi modelleme ve doğrulamayı; insan kaynakları iş bağlamını; hukuk ve etik birimler haklar ile yükümlülükleri; çalışanlar ise uygulamanın gündelik etkilerini temsil eder. Bu paydaşların birlikte çalışması, yalnızca risk azaltma değil, daha yararlı problem seçimi ve daha uygulanabilir müdahale tasarımı bakımından da önemlidir. Önerilen altı bileşenli çerçeve bu disiplinleri ortak bir yaşam döngüsünde buluşturmayı amaçlamaktadır.

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada makine öğrenmesinin insan kaynakları analitiğine entegrasyonu, karar destek sistemi yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Sonuçlar, makine öğrenmesinin çalışanlara ilişkin verileri daha sistematik inceleme, risk ve fırsatları erken belirleme, karar seçeneklerini karşılaştırma ve insan kaynakları süreçlerinde tutarlılığı destekleme potansiyeline sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte söz konusu katkı, model çıktısının yönetsel kararın yerine geçirilmesiyle değil; uygun problem tanımı, güvenilir veri, sağlam doğrulama, açıklanabilirlik, adalet, gizlilik ve anlamlı insan denetimiyle mümkün olabilir.

Önerilen kavramsal çerçeve; stratejik problem ve karar ölçütleri, veri temeli ve veri yönetimi, model geliştirme ve doğrulama, açıklanabilirlik-adalet-gizlilik, insan merkezli karar arayüzü ile izleme-geribildirim-örgütsel öğrenme olmak üzere altı bileşenden oluşmaktadır. Bileşenler doğrusal bir proje planı olarak değil, birbirini besleyen bir yönetim döngüsü olarak tasarlanmıştır. Çerçevenin merkezinde teknoloji değil, çalışanları ve örgütsel amaçları birlikte gözetten sorumlu karar verme yer almaktadır.

Gelecekteki araştırmalarda çerçevenin farklı sektörlerde ve insan kaynakları süreçlerinde vaka çalışmalarıyla sınanması önerilmektedir. Çalışan performansı, devamsızlık veya devir riski gibi uygulamalarda farklı algoritmaların yalnızca doğruluk bakımından değil, açıklanabilirlik, kalibrasyon, alt grup adaleti, yönetsel kullanılabilirlik ve çalışan kabulü bakımından karşılaştırılması yararlı olacaktır. Ayrıca analitik müdahalelerin uzun dönemli etkilerini inceleyen deneysel ve yarı deneysel çalışmalar, tahmin ile gerçek örgütsel değer arasındaki ilişkinin daha iyi anlaşılmasını sağlayabilir. Çalışanların tasarım ve değerlendirme süreçlerine katıldığı araştırmalar ise insan merkezli yönetim mekanizmalarının geliştirilmesine katkı sunabilir.

Sonuç olarak makine öğrenmesi, insan kaynakları yönetiminde karar vericinin yerine geçen bağımsız bir otorite olarak değil, belirsizlik altında daha bilinçli değerlendirme yapılmasına yardımcı olan stratejik bir araç olarak konumlandırılmalıdır. Sorumlu tasarlanan bir sistem, insan yargısının zayıflıklarını azaltabilir ve kanıta dayalı yönetimi güçlendirebilir; sorumsuz tasarlanan bir sistem ise mevcut önyargıları ölçeklendirebilir ve çalışan güvenini zedeleyebilir. Teknolojik yeterlilik ile etik ve örgütsel yeterliliğin birlikte geliştirilmesi, insan kaynakları analitiğinin sürdürülebilir değer üretmesinin temel koşuludur.

KAYNAKÇA

- [1] Marler, J. H. ve Boudreau, J. W., An evidence-based review of HR Analytics, *The International Journal of Human Resource Management*, 28(1), 3-26, 2017. <https://doi.org/10.1080/09585192.2016.1244699>
- [2] Tursunbayeva, A., Di Lauro, S. ve Pagliari, C., People analytics-A scoping review of conceptual boundaries and value propositions, *International Journal of Information Management*, 43, 224-247, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.08.002>
- [3] Minbaeva, D. B., Building credible human capital analytics for organizational competitive advantage, *Human Resource Management*, 57(3), 701-713, 2018. <https://doi.org/10.1002/hrm.21848>
- [4] Margherita, A., Human resources analytics: A systematization of research topics and directions for future research, *Human Resource Management Review*, 32(2), 100795, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2020.100795>
- [5] Tambe, P., Cappelli, P. ve Yakubovich, V., Artificial intelligence in human resources management: Challenges and a path forward, *California Management Review*, 61(4), 15-42, 2019. <https://doi.org/10.1177/0008125619867910>
- [6] Shrestha, Y. R., Ben-Menahem, S. M. ve von Krogh, G., Organizational decision-making structures in the age of artificial intelligence, *California Management Review*, 61(4), 66-83, 2019. <https://doi.org/10.1177/0008125619862257>
- [7] Vrontis, D., Christofi, M., Pereira, V., Tarba, S., Makrides, A. ve Trichina, E., Artificial intelligence, robotics, advanced technologies and human resource management: A systematic review, *The International Journal of Human Resource Management*, 33(6), 1237-1266, 2022. <https://doi.org/10.1080/09585192.2020.1871398>
- [8] Köchling, A. ve Wehner, M. C., Discriminated by an algorithm: A systematic review of discrimination and fairness by algorithmic decision-making in the context of HR recruitment and HR development, *Business Research*, 13, 795-848, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40685-020-00134-w>
- [9] Leicht-Deobald, U., Busch, T., Schank, C., Weibel, A., Schafheitle, S., Wildhaber, I. ve Kasper, G., The challenges of algorithm-based HR decision-making for personal integrity, *Journal of Business Ethics*, 160, 377-392, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04204-w>
- [10] Bankins, S., The ethical use of artificial intelligence in human resource management: A decision-making framework, *Ethics and Information Technology*, 23(4), 841-854, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10676-021-09619-6>
- [11] Bujold, A., Roberge-Maltais, I., Parent-Rochelleau, X., Boasen, J., Sénécal, S. ve Léger, P.-M., Responsible artificial intelligence in human resources management: A review of the empirical literature, *AI and Ethics*, 4, 1185-1200, 2024. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00325-1>

- [12] Deepa, R., Sekar, S., Malik, A., Kumar, J. ve Attrı, R., Impact of AI-focussed technologies on social and technical competencies for HR managers-A systematic review and research agenda, *Technological Forecasting and Social Change*, 202, 123301, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123301>
- [13] Gong, Q., Fan, D. ve Bartram, T., Integrating artificial intelligence and human resource management: A review and future research agenda, *The International Journal of Human Resource Management*, 36(1), 103-141, 2025. <https://doi.org/10.1080/09585192.2024.2440065>
- [14] Kişı, N., İnsan kaynakları yönetiminde yapay zekâ: Bibliyometrik bir analiz, *Journal of Research in Business*, 7(2), 490-514, 2022. <https://doi.org/10.54452/jrb.1113164>
- [15] Kişı, N. ve Özer, M. A., İnsan kaynakları yönetiminde yapay zekâ teknolojisinin benimsenmesi üzerine güç alanı analizi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(Özel Sayı), 35-52, 2024. <https://doi.org/10.33707/akuiibfd.1406096>
- [16] Doğrul, B. Ş., Güneşer Demirci, A. ve Gön, E., İnsan kaynakları yönetiminde yapay zekâ uygulamalarının benimsenmesinin T.O.E. modeli ile incelenmesi, *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 15(30), 678-711, 2025. <https://doi.org/10.53092/duiibfd.1711324>
- [17] Yıldız, F. Z., İnsan kaynakları yönetiminde yapay zekâ: Uygulamalar ve gelecek yönelimleri üzerine kapsamlı bir çalışma, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 23(57), 1569-1594, 2025. <https://doi.org/10.35408/comuybd.1569970>
- [18] European Union, Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act), *Official Journal of the European Union*, 2024.
- [19] Sakib, M. N. ve İslam, S., The impacts of machine learning on human resource management: A systematic literature review and bibliometric analysis, *Future Business Journal*, 12, Article 7, 2026. <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00704-6>
- [20] Taşçıoğlu, H., İnsan kaynakları yönetiminde yapay zekâ: Sakarya ili imalat sektöründe vaka analizi çalışması, *İş ve İnsan Dergisi*, 13(1), 2026. <https://doi.org/10.18394/iid.1881133>

COMPARISON OF AIR POLLUTION CHARACTERISTICS OF SAMSUN AND BAGHDAD

Mohammed Albaqer Jaafar Ameen

Ondokuz Mayıs University

24281855@stu.omu.edu.tr | ORCID: 0009-0009-9091-7958

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK

Ondokuz Mayıs University

bozturk@omu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-3385-0701

ABSTRACT

Air pollution in urban environments remains a critical global public health challenge, with its severity and etiology varying significantly based on local geography, meteorology, and regulatory governance. This study conducts a comparative analysis of key atmospheric pollutants (Sulfur Dioxide (SO₂), Nitrogen Dioxide (NO₂), Carbon Monoxide (CO), and Particulate Matter (PM_{2.5})) in two cities with distinct environmental profiles: Samsun, Türkiye, and Baghdad, Iraq, covering the period from 2023 to 2025. Benchmarked against World Health Organization (WHO) guidelines, the findings reveal a substantial divergence in air quality. Samsun benefits from its coastal location, which facilitates natural pollutant dispersion, though rapid urban and industrial growth presents emerging risks. In contrast, Baghdad exhibits severe pollution levels driven by an arid climate, atmospheric stability, aging industrial infrastructure, and a heavy reliance on high-sulfur fuels and private diesel generators. This research underscores the necessity for context-specific air quality management strategies that address both physical and neurological health implications, particularly in rapidly expanding urban regions.

Keywords: Air pollution, Urban health, SO₂, NO₂, CO, PM_{2.5}, Comparative study, WHO guidelines, Samsun, Baghdad.

1. Introduction

Air pollution is a multifaceted environmental concern resulting from the complex interaction of natural and anthropogenic factors. The acceleration of urbanization, industrialization, and vehicular density has led to the accumulation of hazardous agents in the atmosphere, posing significant risks to human health and ecological integrity (Brunekreef and Holgate, 2002). Globally, poor air quality accounts for millions of premature deaths annually, with a disproportionate impact on low- and middle-income countries (Zhang et al., 2015; Ibrahim et al., 2021). Chronic exposure to pollutants such as SO₂, NO₂, CO, and PM_{2.5} is linked to systemic cardiovascular and respiratory pathologies (Lin et al., 2022). This research quantifies the disparities in air quality between Samsun and Baghdad, identifying the primary drivers and public health implications of the observed pollution levels.

Urban air pollution is exacerbated by diverse sources, including industrial emissions, inefficient combustion, and natural phenomena such as dust storms (Prasad et al., 2024). In arid regions, coarse particles (>10 µm) mobilized by wind reduce visibility and cause respiratory irritation (Grantz et al., 2003). Inadequate environmental oversight and a lack of real-time monitoring often result in significant data gaps, hindering effective mitigation (Pinder & Klopp, 2019).

Carbon monoxide (CO), ground-level ozone (O₃), particulate matter (PM), nitrogen dioxide (NO₂), sulfur dioxide (SO₂), and lead (Pb) have been identified by the US EPA as the main air pollutants, and this is accepted worldwide. This is because these pollutants can have significant effects on human and environmental health. For example, fine particles capable of penetrating deep into the pulmonary tissue and entering the systemic circulation, linked to cardiovascular, respiratory, and neurological damage (Brook et al., 2010), **Sulfur Dioxide is a** primarily byproduct of fossil fuel combustion and acts as a potent respiratory irritant and contributes to environmental acidification (Burnett et al., 2018; Sedyaw et al., 2024), **nitrogen Dioxide is a** key component of urban smog generated by high-temperature combustion, associated with acute respiratory distress and chronic lung impairment (Chinese Adults Study, 2023) and **carbon monoxide is a** product of incomplete combustion that binds to hemoglobin, reducing the blood's oxygen-carrying capacity and causing systemic physiological strain (CDC, 2024).

3. Methodology

3.1. Study Areas

This study compared Samsun and Baghdad provinces in terms of air pollution and influencing factors. Of these provinces, Samsun is a coastal city on the Black Sea, Türkiye. While it benefits from sea-land breeze systems, seasonal heating demands and its 11 Organized Industrial Zones impact its air quality profile (Akdemir et al., 2017), and Baghdad, Iraq is an inland city characterized by a hot, arid climate and frequent atmospheric inversions. High vehicular density, oil refineries, and reliance on residential diesel generators contribute to persistent pollution (Hamad et al., 2015).

3.2. Data Collection and Evaluation

Pollutant data (2023–2025) were sourced from the IQAir Global Database, WHO records, and ministerial reports. Data were cross-verified using US EPA-approved methods. Evaluation involved calculating multi-year averages and fold-difference ratios between the two cities.

4. Results and Discussion

4.1. Comparative Pollutant Analysis

The air pollution status of these two cities was compared considering the concentrations of particulate matter (PM_{2.5}), carbon monoxide (CO), sulfur dioxide (SO₂), and nitrogen dioxide (NO₂).

- **Particulate Matter (PM_{2.5}):** Baghdad's average of 24 µg/m³ was 1.7x higher than Samsun's 14 µg/m³, exceeding the WHO annual guideline of 15 µg/m³. Natural desert dust and construction activity exacerbate this in Baghdad (Hamad et al., 2015).
- **Carbon Monoxide (CO):** Baghdad (630 ppb) exceeded Samsun (393 ppb) by 1.6x. The use of private diesel generators during power outages in Baghdad significantly contributes to this burden (Abed et al., 2024).
- **Sulfur Dioxide (SO₂):** Baghdad reported 43 ppb, nearly 14 times higher than Samsun's 3.2 ppb. Baghdad's levels exceed WHO safety limits by 2.9x, driven by high-sulfur fuel usage and large-scale petroleum refining (Ali & Al-Hemiary, 2023).

- **Nitrogen Dioxide (NO₂):** Baghdad's concentrations reached 62.4 ppb, compared to 9.5 ppb in Samsun (a 6.6x disparity). Traffic congestion and limited emission control technologies in Baghdad are primary contributors (Khanjer et al., 2021).

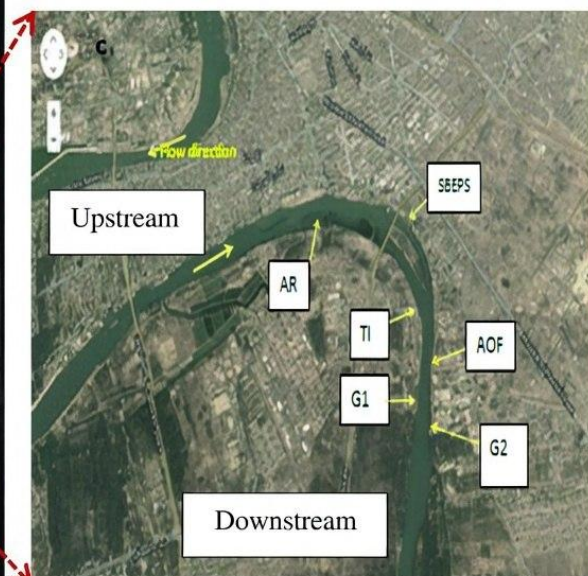
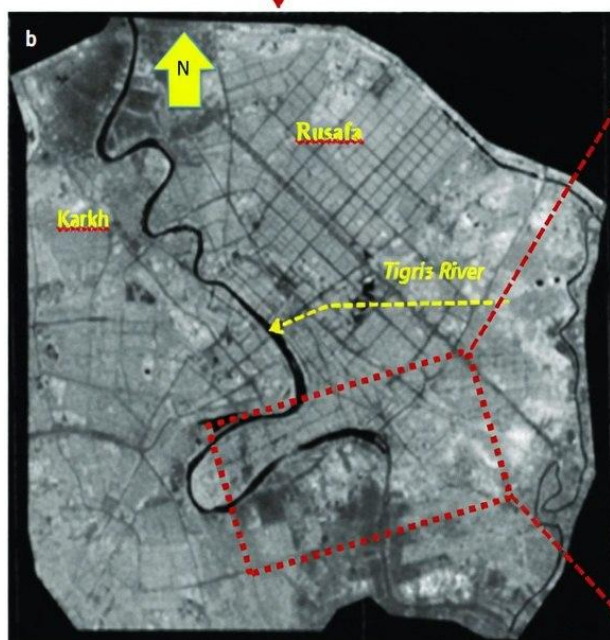
4.2. The Governance-Geography Nexus

The study identifies a critical "double burden" for Baghdad. Geographically, its inland basin topography restricts atmospheric dispersion. From a governance perspective, the lack of stringent fuel standards and decentralized energy production (generators) prevents the mitigation of these natural disadvantages. Conversely, Samsun demonstrates how coastal ventilation combined with EU-aligned regulatory standards can maintain superior air quality.





- AR: Aldora refinery
- SBEPS: South Baghdad Electric Power Station,
- TI: Tannery Industry
- AOF: Alrsheed Oil Factory
- G1 and G2: Two groups of industries under the Iraqi ministry of industry



5. Extended Health Impacts

5.1. Neurological and Behavioral Consequences

Beyond physical health, PM_{2.5} and NO₂ are increasingly linked to neurological dysfunction. Ultrafine particles can bypass the blood-brain barrier, triggering neuro-inflammation and neurotransmitter dysregulation. This is associated with heightened irritability, diminished cognitive capacity, and reduced stress tolerance [Hautekiet et al., 2022; Meidenbauer et al., 2025].

5.2. Social Well-being

Chronic exposure to pollution correlates with lower life satisfaction and increased social tension. Physiological distress and fatigue resulting from poor air quality can impair interpersonal communication and emotional regulation, acting as a threat multiplier in urban environments [Ahad, 2024].

6. Conclusion

The air quality disparity between Samsun and Baghdad highlights the profound impact of regulatory governance and geographical context. Baghdad faces a severe public health crisis that requires urgent intervention to modernize infrastructure and tighten emission controls. These can be recommended for better air quality:

Energy Transition, shift from fossil fuel reliance to renewable energy sources

Transportation Reform, modernize vehicle fleets, enforce stricter emission standards, and promote public transit.

Industrial Oversight, mandate advanced filtration and scrubbing technologies in refineries and power plants.

Urban Greening, mplement green belts and low-emission zones to enhance natural filtration.

Policy Enforcement, stablsh real-time monitoring networks and enact stringent legislation against open waste burning and high-sulfur fuel usage.

References

- [1] Abed, H., Al-Zubaidi, A., & Saleh, M. (2024). Power outages and indoor air quality in Baghdad: The role of residential generators. *Iraqi Journal of Environmental Science*, 12(1), 45–58.
- [2] Ahad, M. A. (2024). Air pollution reduces individuals' life satisfaction through health impairment. *Environmental Health Perspectives*, 132(4), 047003. <https://doi.org/10.1289/EHP12345>
- [3] Akdemir, A., et al. (2017). Investigation of applicability of air quality models in the organized industrial region in Samsun. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(3), 641–648.
- [4] Al-Dabbas, M., Al-Khateeb, N., & Mohammad, H. (2012). Dust storms and air pollution in Iraq: Characteristics and health implications. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(3), 503–513. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0218-0>
- [5] Al-Ghrybawi, S., & Al-Jiboori, M. H. (2019). Atmospheric pollution patterns in Baghdad. *Iraqi Journal of Meteorology*, 7(2), 55–60.
- [6] Al-Jiboori, M. H. (2024). Urban boundary layer and pollutant dispersion in Baghdad under hot arid conditions. *Atmospheric Research*, 298, 107145.
- [7] Alhesnawi, A., Hameed, H., & Al-Salihi, A. (2022). Air quality assessment in Baghdad using ground-based and satellite data. *Atmospheric Pollution Research*, 13(5), 101404. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101404>
- [8] Ali, S. A., & Al-Hemiary, N. J. (2023). Vehicle emissions and fuel quality in Iraqi urban areas: Implications for air quality management. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 73(6), 432–445.

- [9] American Lung Association. (2023). *State of the air 2023*. <https://www.lung.org/research/sota>
- [10] Amnuaylojaroen, T., &Parasin, N. (2024). Particulate matter exposure and vulnerable populations: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 21(2), 189. <https://doi.org/10.3390/ijerph21020189>
- [12] Basic Info about NO2. EPA. Retrieved from <https://www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2>
- [13] Bernstein, J. A., Alexis, N., Bacchus, H., Bernstein, I. L., Fritz, P., Horner, E., Li, N., Mason, S., Nel, A., Oullette, J., Reijula, K., Reponen, T., Seltzer, J., Smith, A., &Tarlo, S. M. (2008). The health effects of nonindustrial indoor air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 121(3), 585–591. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2007.10.043>
- [14] Brook, R. D., Rajagopalan, S., et al. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331–2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8e3e1>
- [15] Brunekreef, B., & Holgate, S. T. (2002). Air pollution and health. *The Lancet*, 360(9341), 1233–1242. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)11274-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)11274-8)
- [16] Burger, J., Gochfeld, M., & Jewett, S. C. (2022). Environmental health risks in industrial regions: A comparative analysis. *Environmental Research*, 204, 112078.
- [17] Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C. A., Apte, J. (2018). Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(38), 9592–9597. <https://doi.org/10.1073/pnas.1803222115>
- [18] Bustillo-Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2015). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances. *Journal of Environmental Management*, 161, 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008>
- [19] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2024). *Carbon monoxide poisoning: Facts and prevention*. U.S. Department of Health and Human Services. <https://www.cdc.gov/co-poisoning>
- [20] Chinese Adults Study. (2023). Incident risk and burden of cardiovascular diseases attributable to long-term NO₂ exposure in Chinese adults. *Journal of the American Heart Association*, 12(5), e028160.
- [21] Delbari, S., et al. (2024). Air pollution and its health effects: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(1), 1–15.
- [22] Divya, Sulaiman, M. A., & Kumari, A. (2024). A review on the outdoor air pollutants in the Indo-Gangetic Plains of India: Sources, health effects and remediation. In M. H. Dehghani, R. R. Karri, T. Vera, & S. K. M. Hassan (Eds.), *Health and environmental effects of ambient air pollution* (pp. 179–207). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16088-2.00013-2>
- [23] Grantz, D. A., Garner, J. H. B., & Johnson, D. W. (2003). Ecological effects of particulate matter. *Environment International*, 29(2–3), 213–239. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00181-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00181-2)

- [24] Hamad, S. H., Schauer, J. J., Shafer, M. M., Al-Rheem, E. A., Skaar, P. S., Heo, J., & Tejedor-Tejedor, I. (2015). Source apportionment of PM_{2.5} carbonaceous aerosol in Baghdad, Iraq. *Atmospheric Research*, 156, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.014>
- [25] Hashim, H., Mohammed, A., & Al-Taai, O. (2020). Industrial emissions monitoring and assessment in Iraq: Current status and future directions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(8), 509.
- [26] Hautekiet, P., Saenen, N. D., Demarest, S., Keune, H., Pelgrims, I., Van Heyden, J., De Clercq, E. M., & Nawrot, T. S. (2022). Air pollution in association with mental and self-rated health and the mediating effect of physical activity. *Environmental Health*, 21(1), 88. <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00900-7>
- [27] Ibrahim, S., et al. (2021). Global burden of disease attributable to ambient air pollution: A systematic review. *Environmental Pollution*, 286, 117541.
- [28] Keskin, G. A., Ozturk, B., & Demir, N. (2018). Air quality assessment and pollution dispersion modeling in Samsun, Turkey. *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 51–70. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2017.07.006>
- [29] Khanjer, M., Al-Nidawi, Y., & Rasool, Z. (2021). Urban traffic emissions and nitrogen dioxide concentrations in Baghdad: Spatial and temporal analysis. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(6), 512.
- [30] Kutiel, H., & Furman, H. (2003). Dust storms in the Middle East: Sources of origin and their temporal characteristics. *Indoor and Built Environment*, 12(6), 419–426. <https://doi.org/10.1177/1420326X0301200604>
- [31] Leung, D. Y. C. (2015). Outdoor-indoor air pollution in urban environment: Challenges and opportunity. *Frontiers in Environmental Science*, 2, 69. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00069>
- [32] Lin, L.-Z., Zhan, X.-L., Jin, C.-Y., Liang, J.-H., Jing, J., & Dong, G.-H. (2022). The epidemiological evidence linking exposure to ambient particulate matter with neurodevelopmental disorders: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research*, 209, Article 112876. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.112876>
- [34] Meidenbauer, K. L., Schertz, K. E., Janey, E. A., Stier, A. J., Samtani, A. L., Gehrke, K., Tucker, R., Hasan, M. M., & Berman, M. G. (2025). Evidence for environmental influences on impulsivity and aggression. *Nature Human Behaviour*, 9(1), 112–125.
- [35] Nassikas, N. J., Laden, F., Schwartz, J., & James, P. (2023). Fine particulate matter and cardiovascular disease: A systematic review of epidemiological studies. *Environmental Health Perspectives*, 131(7), 076001.
- [36] Pinder, R. W., Klopp, J. M., Kleiman, G., Hagler, G. S., Awe, Y., & Terry, S. (2019). Opportunities and challenges for filling the air quality data gap in low- and middle-income countries. *Atmospheric Environment*, 215, 116794. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116794>
- [37] Prasad, R. et al. (2024). Review of scientific research on air quality and environmental health risk and impact for PICTs. *Science of the Total Environment*.
- [38] Rautela, R., et al. (2025). Global burden of air pollution-related diseases: A comprehensive review. *Environmental Research*, 230, 114890.
- [39] Samsun Chamber of Commerce and Industry. (2024). *2024 Annual Report on Industrial*

Development.

- [40] Sedyaw, P., Kawade, S.S., Bhaladhare, D.R., Pranali, K., & Pandey, A. (2024). "Causes, Effects and Management Measures of Acid Rain: A Review." *BhartiyaKrishiAnusandhanPatrika*, 1-8.
- [41] Song, X., Wu, D., Su, Y., Li, Y., & Li, Q. (2024). "Review of health effects driven by aerosol acidity: Occurrence and implications for air pollution control." *Science of The Total Environment*, 955, 176839.
- [42] Sulaiman, M. A., & Kumari, A. (2024). A review on the outdoor air pollutants in the Indo-Gangetic Plains of India: Sources, health effects and remediation. In M. H. Dehghani, R. R. Karri, T. Vera, & S. K. M. Hassan (Eds.), *Health and environmental effects of ambient air pollution* (pp. 179–207). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16088-2.00013-2>
- [43] Tartaglione, A. M., Camoni, L., Calamandrei, G., Chiarotti, F., & Veneros, A. (2024). Air pollution and reproductive health: A systematic review. *Environmental Health Perspectives*, 132(2), 027001.
- [44] Tehran study. (2023). Long-range transport of sulfur dioxide emissions from external sources to Tehran. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 23(4), 2451–2467.
- [45] Thamiri, S., Al-Jiboori, M., & Hassan, I. (2005). Particulate matter in urban areas: Case study of Baghdad. *Journal of Environmental Science and Health*, 40(6), 1139–1149.
- [46] Thangavel, P., Park, D., & Lee, Y.-C. (2022). Recent insights into particulate matter (PM_{2.5})-mediated toxicity in humans: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), Article 7511. <https://doi.org/10.3390/ijerph19127511>
- [47] Vehicle Characteristics Study. (2024). *Report on vehicle fleet and emissions in Baghdad*.
- [48] World Health Organization (WHO). (2025). *WHO global database of ambient air quality standards*. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution>
- [49] Zaręba, G., Majewski, G., Czechowski, P. O., Widziewicz-Rzońca, K., Rogula-Kopiec, P., & Badyda, A. J. (2024). Respiratory effects of short- and long-term particulate matter exposure: A systematic review. *Respiratory Medicine*, 221, 107490.
- [50] Zhang, X., & Chen, X. (2017). Happiness in the air: How does a dirty sky affect mental health and subjective well-being? *Journal of Environmental Economics and Management*, 85, 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2017.04.001>
- [51] Zhang, J., et al. (2015). Global mortality attributable to ambient air pollution: A systematic analysis. *The Lancet*, 386(9993), 525–533.

**OVERCOMING THE HESITATION TOWARDS EFFECTIVE CCS ADOPTION: A
COMPARATIVE ANALYSIS OF ECONOMIC BARRIERS AND THE DE-RISKING
POTENTIAL OF CARBON UTILIZATION**

Rahmat Assibi Ibrahim

Ondokuz Mayıs University

23281205@stu.omu.edu.tr- 0009-0008-2863-7368

Prof. Dr. Bahtiyar Ozturk

Ondokuz Mayıs University

bozturk@omu.edu.tr - 0000-0002-3385-0701

ABSTRACT

Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) is an important technology in industrial carbon emissions reduction. Its widespread adoption is, however, hindered by high capital and operational costs, and severe energy penalty. Developed countries have taken the lead in CCUS adoption due to the presence of government incentives and subsidies to protect investors from these operational limitations. Developing countries, on the contrary, are capital-scarce and do not have the funds to absorb these limitations.

This paper presents a qualitative comparative analysis of how different economic conditions affect carbon management strategies. The results indicate that conventional carbon capture and storage (CCS) may be economically unattractive in developing economies, and market-driven carbon utilization (CCU) potentially provides a self-sustaining alternative. Additionally, mineralization appears to be among the most viable pathways for developing economies due to its low capital requirement and easy applications in local construction sectors. Industries can establish a double-revenue mechanism by combining the local sale of value-added carbon products with international financing from the Voluntary Carbon Market (VCM). This circular market model potentially offsets severe energy penalties and high operational costs, de-risks private capital investments, and may also enable sustainable industrial decarbonation in the absence of government incentives.

Keywords: Carbon capture and storage, Economical aspect, Voluntary carbon market, Project de-risking.

1. INTRODUCTION

According to the International Energy Agency (IEA, 2023), achieving the net-zero target requires balancing carbon emissions with atmospheric removal, and shifting from fossil fuels to renewable energy sources is a primary driver in CO₂ emissions reduction. The agency also recognizes that renewable energy alone is inadequate to achieve the net-zero emissions target, particularly in hard-to-abate sectors like cement, steel, and chemicals. Consequently, Carbon Capture, Utilization and Storage (CCUS) emerges as a critical tool for CO₂ emissions reduction.

The IEA projects (IEA, 2023) that extensive deployment of CCUS could contribute to the reduction of global CO₂ emissions by approximately 15-20% by 2050. However, widespread commercial adoption is hindered by high costs and energy penalties. These penalties can consume about 20% of the plant's efficiency, reduce its economic viability, and affect the environment, as increased energy consumption may offset some of the CO₂ emissions reductions achieved (Memon et al., 2024).

In developed countries, the effective adoption of CCUS is hindered by policy volatility and regulatory lag rather than capital scarcity. Shifting administrations and changing subsidy frameworks pose significant market risks, as large-scale projects entail huge initial investments and require decades to realize a return on investment (Lipponen et al., 2017).

The development of CCUS in developing economies is hindered by economic constraints, policy limitations, infrastructure gaps, and technical capacity issues. Unlike investors in developed countries, who leverage carbon pricing mechanisms and targeted state subsidies, investors in developing countries view CCUS deployment as an additional cost rather than a value-generating investment (Mate, 2026).

To bridge this deployment gap, CCUS must shift from a linear to a circular carbon economy by operating on the principles of 4Rs: Reduce, Reuse, Recycle, and Remove. While conventional CCS operates on a capture-and-disposal model, CCUS takes the captured CO₂ and converts the “waste” into feedstock for fuels, chemicals, and other value-added products, such as fertilizer, and stores the excess in geological formations when utilization is not feasible. This utilization creates new business models and revenue streams by generating value from captured CO₂ that was previously considered waste (Ghiat et al., 2025).

This paper presents a comparative analysis between developed and developing economies and seeks to demonstrate how utilization-led models have the potential to effectively de-risk investments and close the CCUS deployment gap.

1.1. Technical-Economic Overview of Capture Technologies

The initial stage of capturing emissions using CCUS technologies involves capturing carbon from various point sources, such as industrial and power generation plants, or directly from the air (Ghiat et al., 2025). Carbon capture from industrial facilities can be achieved using three (3) main technologies: Pre, Oxy-fuel, and post-combustion capture (Ghiat et al., 2025). Therefore, this section assesses pre-, oxy-fuel, and post-combustion carbon capture technologies based on their capital expenditure (CAPEX), operational expenditure (OPEX), and compatibility with utilization markets.

Table 1. Author's compilation based on (IEA, 2019; Kheiririk et al., 2021; Memon et al., 2024).

Capture Technology	CAPEX Profile	OPEX and Energy Penalty	Utilization Compatibility	Techno-Economic Viability
Pre-Combustion (IGCC)	Very high (complex process, requires major changes to infrastructure)	Moderate (requires energy for gasification and CO ₂ separation from syngas, energy penalty of 10-15%)	High (Produces highly concentrated CO ₂ streams under high pressure, reducing compression costs)	Unsuitable for existing plants because it requires redesigning and disrupting operations, it is best for new plants.
Oxy-Fuel Combustion	High (requires expensive air separation units)	High (Energy-intensive air separation units, energy penalty of 15-20%)	Very High (produces an almost pure stream of CO ₂ and Water vapor, ideal for direct chemical conversion)	High initial investment for infrastructure, but yields high-purity CO ₂ for high-end utilization, e.g., synthetic fuels
Post-Combustion(e.g., Amine Scrubbing)	Low (can be retrofitted into existing infrastructure without disruption of operations)	Very High (requires significant amounts of energy for solvent regeneration, energy penalty of 25-30%)	Moderate (Dilute-to-medium purity CO ₂ , requires extra treatment for chemicals)	Easily retrofitted into existing plants, but incur high operating costs over their lifetime.

As shown in Table1 above, there is a trade-off between the initial capital requirements for capture technology deployment and its effective utilization downstream. Pre-combustion capture demands high capital investments but produces highly concentrated CO₂ streams. Similarly, oxy-fuel combustion systems require huge initial investments, but they yield a nearly pure stream of high-quality carbon, eliminating the extra costs of cleaning the gas.

Post-combustion capture systems are cheaper to install as they can be retrofitted into existing plants. However, their operational costs and energy penalty are very expensive, and they produce a stream of CO₂ that requires additional treatment for commercial use

1.2. Financial Implications of Energy Penalties

Important factors to consider in deploying carbon capture technologies, especially in large-scale applications, are capital and operating costs (Memon et al., 2024). Current studies highlight an energy penalty of about 20% induced by carbon capture systems reduces the overall efficiency, increases the fuel requirements of the plant, and leads to higher product retail prices (Rubin and Zhai, 2012).

Capture systems are currently operating as first-of-a-kind (FOAK) technologies, hence are very expensive because of contingency premiums and a lack of supply chain maturity, which may drive up operational costs until the technology becomes widely spread and cheaper, also known as an Nth of a Kind Technology (NOAK) (Beiron and Johnson, 2024). As carbon capture systems are in their early stages, commercial lenders view the heavy energy penalty as high-risk liability, thereby imposing steep interest rates and risk premiums, which discourage standard commercial operators from adopting carbon capture technology. As mentioned in the previous section, high operating costs of post-combustion systems (OPEX) and the significant capital requirements of oxy-fuel combustion systems create asset risks that banks refuse to support.

1.3. De-risking Frameworks in Developed Economies vs Capital Constraints in Developing Markets.

The capital allocated for carbon capture depends on the country's own capacity to protect investors from early-stage project risks. Literature indicates that developed countries have mechanisms in place to cushion significant losses incurred from First-of-a-Kind (FOAK) projects. These mechanisms function as an economic safety net, artificially absorbing operational losses and high interest rates until the technology achieves Nth-of-a-kind (NOAK) cost efficiencies.

While the United States utilizes the 45Q tax credit to provide production-based revenue (paying corporations through tax credits to capture carbon) (Credit for Carbon Oxide Sequestration, 2023), the EU employs the EU Emissions Trading System, a penalty-driven compliance model where companies have to capture carbon to avoid paying penalties (European Parliament and the Council of the European Union, 2021). The EU further developed the EU innovation fund, where companies are given grants to cover capital and operational costs in the early stage of the project's development (European Commission, 2024).

European governments like France and Germany are deploying Carbon Contracts of Difference (CCfDs), where the state offers a fixed price for carbon and the state pays the deficit if companies incur losses due to high operational costs and energy penalties (Richstein et al., 2024).

Developing countries, however, do not have the luxury of these benefits. Governments do not have the additional funds to insulate investors from losses incurred from first-of-a-kind (FOAK)

projects. In these regions, pure geological storage after capture is perceived as an operational liability, leaving investors exposed to severe market risks without regulatory protection.

1.4. Carbon Commercialization as an Alternative to Government Subsidies

To address this challenge, recent studies in techno-economic research focus on carbon capture and utilization (CCU) as a self-sustaining market-driven alternative to traditional carbon capture and storage (CCS). CCUS treats carbon as a resource to be utilized instead of waste requiring costly long-term storage. The main utilization options include physical utilization (CO₂ used as a supercritical solvent and in industrial cleaning), chemical utilization (fuels, chemicals, and polymers), biological utilization (algae, microbial conversion), geological utilization (enhanced oil recovery, enhanced coal and bed recovery, and hybrid CCUS), and mineralization (cement, carbonates, and construction materials).

Table 2. Authors' compilation based on sources (Memon et al., 2024; Chang et al., 2024; Zha et al., 2025)

CO₂ Utilization Pathway	Advantages	Disadvantages	Technology Maturity	Suitability for Developing Economies
Physical	a. Simple process b. Low process modification required.	a. Low-value addition	Commercial	Moderate (Limited industries)
Chemical	a. High-value products. b. Consumes large quantities of CO₂. c. Potentially low-carbon depending on the energy source.	a. High energy demand. b. High purity of CO₂ is required for some processes.	Pilot- Early Commercial	Moderate to Low (Highly capital intensive)
Biological	a. Environmentally Friendly. b. Low energy demand.	a. Limited scalability.	Early Stage	Low

		b. Highly complex process.		
Geological	a. Properly utilizes geological resources such as oil and gas reservoirs. b. Ensures long-term storage and large-scale utilization of CO₂.	a. Fossil fuel dependency b. Oil price fluctuations affect revenue. c. High risk of CO₂ leakage.	Commercial	Moderate (Resource Dependent)
Mineralization	a. Effectively utilizes CO₂ and provides a stable, solid material used for construction purposes. b. Permanent CO₂ storage.	a. Slow reaction kinetics b. High cost c. Scalability limitations	Emerging-Commercial	High (especially in the construction sector).

While all CCU utilization pathways offer some form of carbon diversion, their adoption in developing countries varies based on cost and local needs. Mineralization appears to offer great potential for developing economies due to its compatibility with the construction sector. Contrary to chemical utilization, which requires huge capital to build and has more complex processes, mineralization employs basic industrial waste streams to trap CO₂ into concrete aggregates permanently. Geological utilization (EOR) and Physical utilization are hindered by geographical limitations. Their suitability is classified as moderate because their deployment heavily depends on geographical resource deposits or the presence of specialized industries, which are rare in developing regions.

2. METHODOLOGY: Qualitative Comparative Analysis Framework

To evaluate the barriers to effective CCUS deployment across various economic environments, this study employs a qualitative comparative analysis framework using secondary data acquired

from peer-reviewed techno-economic assessments, official international policy reports (IEA, EU, and UNDP), and regional regulatory frameworks published between 2017 and 2026.

The analytical framework evaluates developed and developing countries across three fixed qualitative parameters.

- i. Capital- risk insulation: The presence or absence of government incentives such as 45Q tax credit, and EU CCfDs.
- ii. Infrastructure: The compatibility of carbon capture technologies with regional capital constraints.
- iii. Microeconomic yield: The capacity of localized utilization pathways and market structures to offset First-of-a-Kind (FOAK) energy penalties in the absence of government bailout options.

By cross-analyzing these parameters, this paper identifies the barriers to widespread deployment and maps out specific market mechanisms required to de-risk private investments in capital-scarce regions.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1 Capital Risk Insulation in Global Markets

The comparative analysis demonstrates that barriers to widespread CCUS adoption in developed and developing economies differ greatly. In developed economies, high initial capital requirements (CAPEX) are actively insulated by mechanisms such as the US 45Q tax credit and the EU's CCfDs. These guarantee long-term market stability, meaning investor hesitation mainly arises from political and legislative cycles.

Developing countries face a complete absence of such mechanisms. Without government grants or tax equity markets to protect against project risks, investors are forced to bear the full weight of energy penalties from FOAK projects, which drops the project's internal rate of return (IRR) below viable investment thresholds. Commercial lenders, therefore, view these as high-risk assets, imposing steep interest rates and risk premiums that stall the project before the permit stage. This finding shows that bridging the deployment gaps in developing economies cannot rely on the subsidy-heavy, compliance-driven frameworks employed in developed countries. Instead, shifting away from pure geological storage towards carbon utilization pathways that yield immediate microeconomic returns appears to overcome the financial hurdles to effective deployment in developing economies.

3.2 Infrastructure Compatibility

When the capture technology profiles (Table 1) are cross-analyzed with utilization pathways (Table 2), a pattern of regional suitability emerges. Developed economies have the financial capacity to absorb the CAPEX of pre-combustion or oxy-fuel combustion systems to obtain high-purity CO₂ streams for high-end chemical utilization. However, developing economies are

forced to adopt post-combustion systems because of the low CAPEX, but also incur high operating costs and severe energy penalties. Compared to chemical utilization, which requires significant investments, mineralization positions itself as the only highly suitable low-barrier pathway by utilizing cheap, readily available industrial waste (fly ash or bypass dust) to permanently trap CO₂ into concrete aggregates. Therefore, mineralization appears to be the most suitable utilization pathway for developing countries.

3.3 Microeconomic Yield

The final results of this analysis demonstrate that despite operating under severe energy penalties and high First-of-a-Kind (FOAK) interest rates, the revenue generated from the sale of high-value products potentially balances the deficit and de-risks investment in carbon capture projects without relying on government funding.

Furthermore, extra revenue can be generated from trading carbon credits on carbon markets. By pricing carbon and rewarding verified efforts through carbon credits, carbon markets encourage industries to permanently remove and store carbon. The European Union (EU) adopts the Emissions Trading System (ETS), a compliance carbon market that sets goals and an emissions cap that allows member countries to trade carbon credits. Developing countries, however, can trade their credits obtained on voluntary carbon markets by selling these credits to international corporations that need to offset their emissions (UNDP Climate Promise, 2025). This creates a double reward system where the factories sell physical products locally, and they also receive international funding from corporate buyers to cover the operational costs and severe energy penalties of the capture system, potentially de-risking the project and proving that industrial carbon capture can survive and thrive without local government subsidies.

CONCLUSION

Widespread commercial adoption of carbon capture technologies requires a transition from a linear to a circular carbon economy. This comparative analysis demonstrates that developed economies, backed by state subsidies, and compliance markets can maintain a linear capture-and-disposal model (CCS). This approach is, however, incompatible with capital-scarce economies where high first-of-a-kind interest rates, coupled with severe energy penalties, may render geological storage a financial liability. Thus, bridging the deployment gap requires a shift to a circular, utilization-led model (CCU). Among various pathways, mineralization presents the most suitable option for developing economies due to its low capital cost and dependence on local industrial waste. By pairing the local sale of value-added carbon products with international funding from the voluntary carbon market, developing economies can establish a self-sustaining double revenue mechanism. This market-driven strategy may offset the high OPEX and energy penalties of carbon capture, potentially eliminating the need for government bailouts, de-risking private investment, and unlocking sustainable industrial decarbonization on a global scale.

REFERENCES

1. International Energy Agency. (2023). *Net zero roadmap: A global pathway to keep the 1.5°C goal in reach (2023 update)*. <https://www.iea.org/reports/net-zero-roadmap>.

2. Memon, S.U.R., Manzoor, R., Fatima, A., Javed, F., Zainab, A., Ali, L., Ullah, U., Saleem, A. & Ullah, Q. (2024) 'A comprehensive review of carbon capture, utilization, and storage (CCUS): technological advances, environmental impact, and economic feasibility', *Scholars Academic Journal of Biosciences*, 12(7), 184–204.
<https://doi.org/10.36347/sajb.2024.v12i07.003>
3. Lipponen, J., McCulloch, S., Keeling, S., Stanley, T., Berghout, N., & Berly, T. (2017). *The politics of large-scale CCS deployment. Energy Procedia*, 114, 7581–7595.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1890>
4. Mate, J. (2026, April 7). *Barriers and opportunities for carbon capture and sequestration deployment in emerging economies*.
5. Ghiat, I., Banu, A., Bicer, Y., Amhamed, A. I., & Al-Ansari, T. (2025). Circularity within carbon capture networks: A review of capture and utilization technologies. *Journal of CO₂ Utilization*, 95, 103075.
6. Kheirininik, M., Ahmed, S., & Rahmanian, N. (2021). Comparative techno-economic analysis of carbon capture processes: Pre-combustion, post-combustion, and oxy-fuel combustion operations. *Sustainability*, 13(24), 13567.
<https://doi.org/10.3390/su132413567>
7. International Energy Agency. (2019). *Transforming industry through CCUS*. IEA.
<https://www.iea.org/reports/transforming-industry-through-ccus>
8. Beiron, J., & Johnsson, F. (2024). Progressing from first-of-a-kind to Nth-of-a-kind: Applying learning rates to carbon capture deployment in Sweden. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 137, 104226.
<https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104226>
9. Rubin, E. S., & Zhai, H. (2012). The cost of carbon capture and storage for natural gas combined cycle power plants. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3076–3084. <https://doi.org/10.1021/es204514f>
10. Credit for Carbon Oxide Sequestration, 26 U.S.C. § 45Q (2023).
11. Richstein, J. C., Blömer, S., & Vance, L. (2024). Challenges in designing an industrial decarbonization support scheme: Insights from the German CCfD scheme. *Funcas Energy Papers*, (29), 112–125. [Funcas website](#).
12. European Parliament and the Council of the European Union. (2021). *Directive (EU) 2021/2267 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2021 amending Directive 2009/31/EC on the geological storage of carbon dioxide and the EU Emissions Trading System*. Official Journal of the European Union.
13. European Commission. (2024). *Industrial carbon management strategy: Boosting the commercial demonstration of first-of-a-kind (FOAK) CCUS projects through the EU Innovation Fund* (COM(2024) 45 final). European Commission. Brussels.
14. [UNDP Climate Promise](#). (2025, August 29). *What are carbon markets and how do they work?* United Nations Development Programme.

<https://climatepromise.undp.org/news-and-stories/what-are-carbon-markets-and-how-do-they-work>

15. Chang, Y., Gao, S., Ma, Q., Wei, Y., & Li, G. (2024). Techno-economic analysis of carbon capture and utilization technologies and implications for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 114550. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114550>
16. Zha, J., Li, Z., Zhang, Y., Zha, Z., Fang, Y., & Ma, P. (2025). Techno-economic study of captured CO₂ utilization in the cement industry in China: Exploring a feasible pathway. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 84, 104691. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.104691>

BANDIRMA LİMANI'NDA FOTOVOLTAİK ENTEGRASYONU: DÖKME YÜK ODAKLI BİR YEŞİL LİMAN İÇİN TEKNİK, EKONOMİK VE ÇEVRESEL DEĞERLENDİRME

Dr. Öğr. Üyesi Üstün ATAĞ

Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi

uatak@bandirma.edu.tr - 0000-0002-1513-7371

ÖZET

Deniz taşımacılığı küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %3'ünü oluşturmakta olup limanlar bu emisyonların mekânsal olarak yoğunlaştığı merkezlerdir. Bu çalışma, Güney Marmara kıyısında yer alan dökme yük, konteyner ve Ro-Ro trafiğini bir arada yürüten çok amaçlı bir tesis olan Bandırma Limanı üzerinden bir vaka analizi yaparak söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. 268.348 m²'lik liman sahasında fotovoltaik (PV) kurulumuna uygun yüzeylerin envanteri kamuya açık teknik verilerle çıkarılmış; 32°'lik eğim kazancı ve 0,82'lik performans oranı varsayımlarıyla, Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'nda Balıkesir için raporlanan 1.422 kWh/m²·yıl değerindeki yatay küresel ışıınımdan 1.350 kWh/kWp·yıl'lık özgül verim elde edilmiştir. Üç senaryo değerlendirilmiştir. Yalnızca çatı üstü kurulumlar (1,05 MWp), çatı üstü kurulumlara ek olarak araç sahası üzerinde güneş enerjili otopark yapıları (5,25 MWp) ve bunlara ek olarak atıl arazilerin kullanımı (7,13 MWp). Bu senaryolar yıllık sırasıyla 1,42, 7,09 ve 9,62 GWh üretim sağlamakta; 0,442 tCO₂e/MWh'lik ulusal tüketim noktası emisyon faktörü esas alındığında yıllık sırasıyla 627, 3.133 ve 4.252 tCO₂e emisyonun önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Seviyelendirilmiş elektrik maliyeti 0,047–0,068 \$/kWh aralığında gerçekleşmekte ve bu değer, mevcut 0,115 \$/kWh'lik sanayi tarifesinin belirgin biçimde altında kalmaktadır. Basit geri ödeme süresi 3,5–5,5 yıl arasında değişmektedir. Duyarlılık analizi, tarife, yatırım maliyeti ve verim değerlerinde ±%10–20 oranında değişim olması durumunda dahi geri ödeme süresinin 4,6–6,9 yıl aralığında kaldığını göstermektedir. Limanın tarifeli Ro-Ro seferlerine ev sahipliği yapması nedeniyle kıyıda güç beslemesi (OPS) doğal bir ikinci aşama olarak öne çıkmaktadır. Ekipman elektrifikasyonu ve batarya depolama sistemleriyle birleştirildiğinde önerilen yol haritası, ulusal Yeşil Liman Sertifikası programının enerji ve emisyon ölçütlerini karşılayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil liman; fotovoltaik sistemler; Bandırma Limanı; kıyıda güç beslemesi; karbon ayak izi; sürdürülebilirlik.

1. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %3'ünden sorumludur ve mevcut eğilimlerin sürmesi hâlinde bu payın artması beklenmektedir [1]. Limanlar bu tabloda özel bir konuma sahiptir: gemi kaynaklı emisyonların kıyı bölgelerinde yaşayan nüfusa en yakın noktada salındığı yerler olmalarının yanı sıra vinçleri, saha ekipmanlarını, soğutuculu konteynerleri, siloları ve aydınlatma sistemlerini bünyesinde barındıran enerji yoğun tesislerdir.

Iris ve Lam [2] derleme çalışmalarında rıhtım vinçlerini, saha vinçlerini ve soğutuculu konteyner (reefer) soğutma sistemlerini liman elektrik talebinin baskın bileşenleri olarak tanımlamaktadır.

Buna bir yanıt olarak ortaya çıkan “yeşil liman” kavramı, çevresel performansı yasal bir yükümlülüğünden ziyade liman rekabetçiliğinin bir unsuru olarak ele almaktadır [3, 4]. Türkiye’de T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından yürütülen Yeşil Liman Sertifikası, kıyı tesislerindeki enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kullanımını belgeleyerek bu durumu resmileştirmektedir [5]. Kavramsal düzeyde ise Sifakis ve Tsoutsos [6, 7], yenilenebilir enerji üretimi, depolama ve akıllı enerji yönetiminin birbirinden bağımsız müdahaleler yerine bütüncül biçimde planlanması gerektiğini savunarak “Neredeyse Sıfır Enerjili Liman” (nZEP) modelini önermektedir.

Liman sahaları, fotovoltaik (PV) sistemlerin kurulumu için oldukça elverişlidir. Zira bu alanlar geniş ve gölgelenmeyen yüzeylere, mevcut orta gerilim altyapısına ve üretilen enerjinin yerinde tüketilmesine olanak tanıyan kayda değer bir enerji talebine sahiptir [8]. Uluslararası uygulamalar da bu durumu doğrulamaktadır. Port Newark Konteyner Terminali’nde 2025 yılında devreye alınan 7,2 MW’lık gölgelik ve çatı üstü güneş enerjisi sistemi, terminalin yıllık elektrik ihtiyacının yaklaşık yarısını karşılamakta [9]; Los Angeles Limanı ise yaklaşık 12 MW’lık kurulu güce ulaşmıştır [10]. Bununla birlikte, yayımlanan vaka çalışmaları büyük ölçüde konteyner terminallerine odaklanmaktadır. Orta ölçekli dökme yük limanları yeterince temsil edilmemektedir [11].

Bu çalışma, söz konusu eksikliği gidermeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın amacı, Bandırma Limanı için sahaya özgü bir PV boyutlandırma, enerji üretimi, emisyon ve ön fizibilite değerlendirmesi geliştirmek ve elde edilen sonuçları kıyıda güç beslemesi ve ekipman elektrifikasyonu gibi tamamlayıcı önlemlerle birlikte bütüncül bir yol haritası çerçevesinde konumlandırmaktır. Çalışmanın katkısı; dökme yük, konteyner ve Ro-Ro taşımacılığını bir arada yürüten ve hakkında benzer bir yayımlanmış değerlendirme bulunmayan bir Türk limanı için, tamamen kamuya açık teknik verilere dayalı, şeffaf ve senaryo temelli bir hesaplama çerçevesi ortaya koymasındır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR

Liman enerji verimliliği üzerine yapılan araştırmalar üç ana ekseninde gelişmiştir. İlk eksen operasyonel stratejilerle ilgilidir: tepe yük tıraşlama (peak shaving), ekipman rotalaması ve rıhtım ile saha operasyonlarının enerji odaklı zamanlanması bu kapsamda örneklendirilebilir [2]. Yun vd. [12], bir simülasyon yaklaşımı kullanarak yeşil konteyner terminallerinde bu tür operasyonel iyileştirmelerle elde edilebilecek karbon tasarrufunu nicel olarak ortaya koymaktadır. İkinci eksen, yenilenebilir enerji üretimi ve mikroşebekelerle ilgilidir. Abu Bakar vd. [13], liman mikroşebekelerinin hem kara hem de deniz tarafındaki kavramsal yapısını ve operasyonel yönetimini incelemektedir. Qing vd. [14] ise çok portlu bir güç elektroniği transformatörü içeren yeşil liman sisteminin gün öncesi piyasa işletimini ele almaktadır.

Üçüncü eksen, “soğuk ütöleme” (cold ironing) olarak da adlandırılan kıyıda güç beslemesi (OPS) ile ilgilidir. Winkel vd. [15] Avrupa genelindeki potansiyeli ve çevresel faydaları

değerlendirirken, Stolz vd. [16] kıta genelinde sağlanabilecek CO₂ azaltımını modellemektedir. Zis [17] bir emisyon azaltım seçeneği olarak kıyı elektriğinin geleceğini değerlendirmektedir. Chen vd. [18] ise Çin’de karşılaşılan engelleri analiz etmektedir. Daniel vd. [19], özellikle dökme yük gemilerini referans alarak denizcilikte karbonsuzlaşma sürecinin ilk adımı olarak kıyı elektriğini savunmakta; D’Agostino vd. [20] ise OPS uygulamaları için liman güç talebini tahmin etmeye yönelik bir yöntem ortaya koymaktadır. Yu vd. [21], Hamburg Limanı’ndaki rıhtımlar arasında kıyı elektriğinin tahsisini ele almaktadır. Teknik açıdan bakıldığında IEC/IEEE 80005-1 standardı [22], yüksek gerilimli kıyı bağlantı sistemlerine yönelik genel gereklilikleri tanımlamaktadır.

Bu üç unsurun kesiştiği noktada, PV üretiminin liman enerji talebiyle ne ölçüde örtüştüğü belirleyici bir parametre hâline gelmektedir. Spengler ve Wilmsmeier [23] terminal düzeyinde standartlaştırılmış enerji verimliliği göstergeleri kullanılması gerektiğini savunurken, Ammar ve Seddiek [24] emisyon azaltım stratejilerine ilişkin çevresel ve ekonomik analizlerin bir arada yürütülmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Mevcut çalışma da bu yaklaşımı benimseyerek teknik boyutlandırma sürecini ekonomik ve çevresel değerlendirmelerle bütünleştirmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

Bandırma Limanı, Marmara Denizi’nin güney kıyısında, 40°21’45” kuzey enlemi ve 27°57’50” doğu boylamı koordinatlarında yer alan çok amaçlı bir tesistir. Limanda katı ve sıvı dökme yükler, genel kargo, konteyner, proje kargosu ve Ro-Ro trafiği ile araç elleçlemesi yapılmaktadır [25]. Bu yük çeşitliliği, limanın talep profilini bir konteyner terminalininkinden farklı kılmaktadır. Toplam elektrik tüketimi görece düşük olmakla birlikte gündüz saatlerinde yoğunlaşmakta ve operasyonel döngüyle sıkı bir uyum sergilemektedir. Dolayısıyla PV üretimi talep ile büyük ölçüde örtüşmekte ve bu da proje ekonomisi açısından belirleyici olan öz tüketim oranını artırmaktadır. Çizelge 1, limanın teknik özelliklerini ve analizde kullanılan yüzey envanterini özetlemektedir.

Çizelge 1. Bandırma Limanı’nın teknik özellikleri ve PV’ye uygun yüzey envanteri

Parametre	Değer	PV açısından önemi
Toplam liman sahası	268.348 m ²	Genel saha zarfı
Toplam rıhtım uzunluğu	2.973 m	OPS için rıhtım sayısı
Elleçleme kapasitesi (dökme + genel yük)	~13 milyon t/yıl	Talebin ölçeği
Konteyner kapasitesi	350.000 TEU/yıl	Reefer ve vinç yükü
Araç elleçleme kapasitesi	500.000 adet/yıl	Otopark yapılarının gerekçesi
Ro-Ro trafiği	>200.000 adet/yıl	Tarifeli seferler OPS’yi destekler
Kapalı ambar ve CFS çatısı	~8.250 m ²	Senaryo A yüzeyi
İdari, atölye ve yardımcı bina çatıları (tahmini)	~2.250 m ²	Senaryo A yüzeyi
Otomobil ve kamyon park sahası (tahmini)	~42.000 m ²	Senaryo B otopark yüzeyi

Parametre	Değer	PV açısından önemi
Açık depolama / atıl arazi (tahmini pay)	~15.000 m ²	Senaryo C yüzeyi
Dikey çelik silo hacmi (tahmini)	~80.000 m ³	Sürekli yardımcı yük

3.2. Güneş Enerjisi Kaynağı

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (GEPA) göre Balıkesir ili, yatay bir yüzeyde yıllık 1.422 kWh/m² küresel güneş ışınımı almakta ve yılda yaklaşık 2.700 saat güneşlenme süresine sahip bulunmaktadır [26]. Bu değerler, sırasıyla 1.527 kWh/m² ve 2.741 saat olan ulusal ortalamaların bir miktar altında kalsa da kurulu PV kapasitesinin çok daha yüksek olduğu Almanya gibi ülkelerin ortalamalarının belirgin biçimde üzerindedir. Bölgedeki yenilenebilir enerji potansiyeline ilişkin değerlendirmeler de bu tabloyu desteklemektedir [27]. Bandırma'daki bir sanayi tesisinde bulunan 5,3 MWp gücündeki mevcut çatı üstü kurulum, bu ölçekte bir sistemin söz konusu bölgede teknik ve idari açıdan uygulanabilir olduğunu doğrulamaktadır.

3.3. Hesaplama Yöntemi

Yıllık üretim, standart PV performans denklemi kullanılarak hesaplanmıştır:

$$E = P \times (H_POA / G_STC) \times PR \quad (1)$$

Burada E yıllık üretimi (kWh), P kurulu gücü (kWp), H_POA dizi düzlemine düşen yıllık ışınımı (kWh/m²), G_STC referans ışınım şiddetini (1 kW/m²) ve PR performans oranını göstermektedir. Güneye bakan yaklaşık 32°'lik bir eğim için yatay değere göre %15'lik bir kazanç varsayılmış ve H_POA = 1.635 kWh/m² olarak alınmıştır. Performans oranı; sıcaklık, kirlenme, kablolama, evirici ve uyumsuzluk kayıplarını kapsayacak biçimde ve dökme yük elleçleme ortamına özgü toz yükü dikkate alınarak 0,82 olarak belirlenmiştir. Bu varsayımlar 1.341 ≈ 1.350 kWh/kWp·yıl'lık bir özgül verim vermektedir.

Önlenen emisyonlar, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayımlanan tüketim noktası emisyon faktörü kullanılarak hesaplanmıştır (EF = 0,442 tCO₂e/MWh; [28]):

$$\Delta CO_2 = E \times EF \quad (2)$$

Ekonomik değerlendirmede basit geri ödeme süresi (BGÖ) ve seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (LCOE) kullanılmıştır:

$$BGÖ = CAPEX / [E \times \alpha \times p_öz + E \times (1 - \alpha) \times p_şebeke - OPEX] \quad (3)$$

$$LCOE = (CAPEX \times SGF + OPEX) / E_ort, \quad SGF = i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1] \quad (4)$$

Burada α öz tüketim oranını; p_öz şebeke elektriğinin kaçınılan birim maliyetini (dağıtım bedelleri ve vergiler dâhil sanayi tarifesinde 0,115 \$/kWh); p_şebeke şebekeye verilen fazla enerjinin mahsuplaşma değerini (0,060 \$/kWh); OPEX yıllık işletme ve bakım maliyetini (CAPEX'in %1,5'i); i iskonto oranını (%8); n ekonomik ömrü (25 yıl); SGF sermaye geri kazanım faktörünü; E_ort ise yılda %0,5'lik modül bozunumu dikkate alınarak hesaplanan ortalama yıllık üretimi göstermektedir. Birim yatırım maliyetleri güncel Türkiye piyasa

koşullarını yansıtmaktadır: çatı üstü sistemler için 0,55 \$/Wp, otopark yapıları için 0,85 \$/Wp ve yere montajlı diziler için 0,50 \$/Wp. Kullanılabilir yüzey oranları çatılar için 0,75, park sahası için 0,60 olarak alınmış; özgül alan gereksinimleri ise çatılarda 7,5 m²/kWp, otopark yapılarında 6,0 m²/kWp ve açık arazide 8,0 m²/kWp olarak uygulanmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Senaryolar ve Boyutlandırma

Yüzey envanterinden üç aşamalı bir senaryo seti oluşturulmuştur. Senaryo A yalnızca mevcut kapalı yapıların çatılarını kullanmakta ve bu nedenle izin alma ile devreye alma açısından en hızlı seçeneği oluşturmaktadır. Senaryo B, otomobil ve kamyon park sahasının %60'lık kısmına güneş enerjili otopark yapıları (carport) eklemektedir. Bu yapılar elektrik üretmenin yanı sıra Ro-Ro yüklemesini bekleyen araçları güneş ve doludan korumakta, bu da iç onay süreçlerinde sıklıkla belirleyici olan operasyonel bir yan fayda sağlamaktadır. Senaryo C ise liman sınırları içindeki atıl alanları yere montajlı dizilerle değerlendirmektedir. Çizelge 2, her üç senaryonun teknik, çevresel ve ekonomik sonuçlarını sunmaktadır.

Çizelge 2. Senaryolara göre teknik, çevresel ve ekonomik sonuçlar

Parametre	Senaryo A (Çatı)	Senaryo B (Çatı + otopark)	Senaryo C (B + arazi)
Kullanılan yüzey (m ²)	7.875	33.075	48.075
Kurulu güç (MWp)	1,05	5,25	7,13
Yıllık üretim (GWh)	1,42	7,09	9,62
Öz tüketim oranı α (%)	100	85	75
Karşılanan talep payı (%)*	19	80	96
Önlenen emisyon (tCO ₂ e/yıl)	627	3.133	4.252
Yatırım maliyeti — CAPEX (milyon \$)	0,58	4,15	5,09
Yıllık net fayda (bin \$)	163	757	974
Basit geri ödeme (yıl)	3,5	5,5	5,2
LCOE (\$/kWh)	0,047	0,068	0,061
25 yıllık kümülatif tasarruf (bin tCO ₂ e)	15,7	78,3	106,3

* Limanın yıllık elektrik talebi, yük bileşimi ve literatürde bildirilen özgül tüketim aralıkları (dökme yük için 0,5–2 kWh/t; konteyner için 4–12 kWh/TEU) esas alınarak 7,5 GWh olarak kabul edilmiştir. Karşılanan pay, öz tüketilen enerjinin talebe oranıdır ve limanın sayaç ölçümlü tüketimiyle doğrulanmalıdır.

4.2. Enerji ve Emisyonlar

Senaryo B, teknik ve ekonomik ölçütlerin en iyi biçimde dengelendiği temel senaryo olarak öne çıkmaktadır. 5,25 MWp kapasiteyle yılda 7,09 GWh üreten bu senaryo, sahadaki tahmini talebin dörtte üçünden fazlasını karşılamakta ve yılda 3.133 tCO₂e emisyonu önlemektedir. Bunun yerine yenilenebilir enerji projeleri için tanımlanan birleşik marj emisyon faktörü (0,6345 tCO₂/MWh) uygulandığında bu rakam yıllık 4.497 tCO₂e seviyesine yükselmektedir.

Bu iki faktör arasındaki seçim keyfi değildir: tüketim noktası bazlı faktör Kapsam 2 kurumsal raporlaması için uygunken, birleşik marj faktörü proje bazlı emisyon azaltım sertifikasyonu süreçlerinde geçerlidir.

Senaryo C en yüksek mutlak tasarrufu sağlasa da, azalan öz tüketim oranı her bir marjinal kilovat-saatın ekonomik değerini düşürmektedir. Bu durum, otopark aşamasının ötesine geçilerek yapılacak kapasite artışlarının ancak ilave üretimi tüketecek yeni yüklerin, örneğin kıyıda güç beslemesi veya elektrikli yük elleçleme ekipmanlarının, devreye alınmasıyla anlamlı hâle geleceğini göstermektedir.

4.3. Duyarlılık Analizi

Temel senaryo için üç kritik parametre üzerinde tek değişkenli duyarlılık analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Çizelge 3'te sunulmuştur. Geri ödeme süresi, elektrik tarifesindeki değişimlere karşı en yüksek duyarlılığı göstermektedir. Hem döviz kuru hareketlerine hem de tarife düzenlemelerine duyarlı olan Türkiye'deki sanayi elektriği fiyatlarının değişken yapısı göz önüne alındığında bu bulgu, yatırım kararının uzun vadeli bir tedarik sözleşmesi ya da riskten korunma (hedging) düzenlemesi yoluyla oluşturulacak bir fiyat riski yönetimi stratejisiyle birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Çizelge 3. Senaryo B için duyarlılık analizi (basit geri ödeme süresi, yıl)

Değişken	Kötümser	Temel	İyimser
Elektrik tarifi (±%20)	6,9	5,5	4,6
Yatırım maliyeti (±%15)	6,3	5,5	4,7
Özgül verim (±%10)	6,1	5,5	5,0

Tüm durumlarda geri ödeme süresi, 25 yıllık ekonomik ömrün dörtte birinin altında kalmaktadır.

5. TARTIŞMA: BÜTÜNCÜL BİR YEŞİL LİMAN YOL HARİTASI

Tek başına bir PV yatırımı, limanın karbon ayak izinin yalnızca elektrikle ilgili (Kapsam 2) bileşenini ele alır. Rıhtımdaki gemilerden, dizel saha ekipmanlarından ve kara tarafındaki trafikten kaynaklanan emisyonlar tamamlayıcı önlemler gerektirir. Bu önlemlerin hangi sırayla uygulanacağı ise limanın yük ve hizmet yapısına bağlıdır.

Kıyıda güç beslemesi (OPS) açık biçimde ilk önceliklidir. Tarifeli Ro-Ro seferlerinin varlığı literatürde OPS için en uygun koşullar olarak tanımlanan profili büyük ölçüde oluşturmaktadır: kısa ve öngörülebilir yanaşma süreleri, aynı gemilerin tekrarlayan ziyaretleri ve sabit bağlantı ekipmanı kullanma imkânı. Winkel vd. [15] ile Stolz vd. [16], Avrupa'da kıyıda sağlanan elektriğin CO₂ azaltım potansiyelinin kayda değer olduğunu ortaya koymakta; Daniel vd. [19] ise bu sistemin dökme yük gemileri açısından politika yansımalarını incelemektedir. Rıhtımdaki bir geminin yardımcı motorları kWh başına yaklaşık 0,69 kg CO₂ salımı yaparken, Türk şebekesinden beslenen bir OPS bağlantısı bu değeri 0,442 kg CO₂/kWh seviyesine (yaklaşık %36'lık bir azalma) düşürmektedir. Söz konusu bağlantının tesis içi PV üretimiyle desteklenmesi ise bu değeri sıfıra yaklaştırmaktadır. Bu nedenle Senaryo C'de öngörülen ek kapasite, OPS sisteminin devreye alınmasıyla eşgüdümlü olarak planlanmalıdır. Sistem

tasarımı IEC/IEEE 80005-1 standardının [22] gereklerine uygun olmalı ve rıhtım düzeyindeki güç talebi, D'Agostino vd. [20] tarafından önerilen yöntemle tahmin edilmelidir.

İkinci öncelik ekipman elektrifikasyonudur. Konveyör hatları için elektrikli tahrik sisteminin belirlenmesi, mobil vinçlerin hibrit veya tamamen elektrikli ünitelerle değiştirilmesi ve terminal traktörlerinin aşamalı olarak dönüştürülmesi, yakıt maliyetlerini düşürürken aynı zamanda PV ekonomisini iyileştiren ek öz tüketim yaratacaktır. Philipp vd. [11] dökme yük yükleme operasyonlarında yenilenebilir enerji ve otomasyon için benzer bir sonuca ulaşmıştır. Üçüncü öncelik ise depolama ve akıllı enerji yönetimidir. Vinç kaldırma döngülerinden ve OPS bağlantı olaylarından kaynaklanan tepe yükler batarya destekli tepe yük tıraşlama yoluyla hafifletilebilir. Hem Sifakis vd. [29] hem de Abu Bakar vd. [13] depolamanın bir enerji yönetim sistemiyle birleştirilmesinin liman mikroşebekelerinde seviyelendirilmiş maliyeti önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Limanın rıhtımlara doğrudan uzanan demiryolu bağlantısı hinterland taşımacılığında modal kayma sağlayarak ve böylece Kapsam 3 emisyonlarını azaltarak ek bir fırsat sunmaktadır.

Bu bulguları sınırlandıran birkaç husus bulunmaktadır. Limanın ölçülmüş saatlik yük profili ve elektrik faturaları mevcut olmadığından talep literatürde bildirilen özgül tüketim aralıklarından çıkarılmıştır. Çatı alanları, saha ölçümü yerine yayımlanmış rakamlardan tahmin edilmiş; taşıyıcı çerçevelerin yapısal kapasitesi ile gölgeleme analizi değerlendirilmemiştir. Tuzlu ve tozlu kıyı atmosferinin modül bozunumu ve bakım maliyetleri üzerindeki etkisi, PR ve OPEX varsayımları aracılığıyla yalnızca dolaylı biçimde yansıtılmıştır. Bu nedenle sonuçlar, bir tasarım temeli olarak değil, ön fizibilite düzeyinde bir karar destek çıktısı olarak okunmalıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Bandırma Limanı için teknik, çevresel ve ekonomik boyutları kapsayan üç aşamalı bir fotovoltaik entegrasyon süreci geliştirmiş ve değerlendirmiştir. Yalnızca mevcut çatı yüzeyleri yılda 1,42 GWh üreten ve 627 tCO₂e emisyonu önleyen 1,05 MWp'lik bir sistemi destekleyebilmektedir. Araç sahası üzerine güneş enerjili otopark yapıları eklenmesi, sistem kapasitesini 5,25 MWp'ye çıkararak yılda 7,09 GWh üretim (limanın tahmini elektrik talebinin yaklaşık %80'i) ve 3.133 tCO₂e emisyon tasarrufu sağlamaktadır. Tüm senaryolarda seviyelendirilmiş elektrik maliyeti (0,047–0,068 \$/kWh) şebeke tarifesinin altında kalmakta ve basit geri ödeme süresi 3,5-5,5 yıl arasında değişmektedir. Duyarlılık analizi, olumsuz varsayımlar altında dahi geri ödeme süresinin yedi yılı aşmadığını göstermektedir.

Bu sonuçlar doğrultusunda aşamalı bir uygulama takvimi önerilmektedir. Erken tasarruf sağlamak ve ölçülebilir performans verisi elde etmeye başlamak amacıyla çatı üstü sistemler ilk yılda devreye alınmalıdır. İkinci ve üçüncü yıllarda, otopark yatırımlarının yanı sıra Ro-Ro rıhtımlarında pilot bir OPS kurulumu gerçekleştirilmeli ve ekipman elektrifikasyon planı hazırlanmalıdır. Dördüncü ve beşinci yıllarda ise batarya destekli enerji yönetimi ve yere montajlı kapasite eklenerek liman mikroşebekesine geçiş tamamlanmalıdır. Bu sıralama, Yeşil Liman Sertifikası programının enerji ve emisyon ölçütleriyle doğrudan örtüşmekte; hem Türkiye'nin 2053 net sıfır hedefine hem de Avrupa Birliği'nin Sınırdan Karbon Düzenleme Mekanizması'ndan kaynaklanan ticari beklentilere yanıt vermektedir.

Gelecek çalışmalarda, limanın saatlik yük eğrisi ile PV üretim profilinin karşılaştırılması, PVsyst veya eşdeğeri yazılımlarda gölgeleme ve kayıp analizlerinin yapılması, gerçek gemi uğrak kayıtlarına dayalı OPS talebinin modellenmesi ve finansal değerlendirmenin net bugünkü değer ile iç verim oranı analizlerini de kapsayacak biçimde genişletilmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Bjerkan, K. Y., & Seter, H. (2019). Reviewing tools and technologies for sustainable ports: Does research enable decision making in ports?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 72, 243-260.
- [2] Iris, Ç., & Lam, J. S. L. (2019). A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 170-182.
- [3] Satır, T., & Doğan-Sağlamtimur, N. (2018). The protection of marine aquatic life: Green Port (EcoPort) model inspired by Green Port concept in selected ports from Turkey, Europe and the USA. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 6(1).
- [4] Akandere, G. (2021). Yeşil Sertifikalı Limanların Performansının Entegre Entropi-Topsis Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 39(4), 515-535.
- [5] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (2019). Yeşil Liman / Yeşil Kıyı Tesisi Belgesi düzenlenmesine ilişkin yönerge. *Resmî Gazete*, Ankara. 24 Mart 2026 Salı
- [6] Sifakis, N., & Tsoutsos, T. (2020, January). Nearly Zero Energy Ports: A necessity or a green upgrade?. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 410, No. 1, p. 012037). IOP Publishing.
- [7] Sifakis, N., & Tsoutsos, T. (2021). Planning zero-emissions ports through the nearly zero energy port concept. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125448.
- [8] Parhamfar, M., Sadeghkhan, I., & Adeli, A. M. (2023). Towards the application of renewable energy technologies in green ports: Technical and economic perspectives. *IET Renewable Power Generation*, 17(12), 3120-3132.
- [9] New York ve New Jersey Liman İdaresi (2025). New solar energy installation at Port Newark Container Terminal completed. *Basın bülteni*, New York.
- [10] Los Angeles Limanı (2024). Solar power - Sustainability programs. Los Angeles. <https://portoflosangeles.org/environment/sustainability/solar-power> (Erişim tarihi: 24 Temmuz 2026).
- [11] Philipp, R., Prause, G., Olaniyi, E. O., & Lemke, F. (2021). Towards green and smart seaports: Renewable energy and automation technologies for bulk cargo loading operations. *Environmental and Climate Technologies*, 25(1), 650-665.
- [12] Yun, P. E. N. G., Xiangda, L. I., Wenyuan, W. A. N. G., Ke, L. I. U., & Chuan, L. I. (2018). A simulation-based research on carbon emission mitigation strategies for green container terminals. *Ocean Engineering*, 163, 288-298.

- [13] Abu Bakar, N. N., Guerrero, J. M., Vasquez, J. C., Bazmohammadi, N., Yu, Y., Abusorrah, A., & Al-Turki, Y. A. (2021). A review of the conceptualization and operational management of seaport microgrids on the shore and seaside. *Energies*, 14(23), 7941.
- [14] Qing, C., Tai, N., Fan, F., Yu, J., Wang, J., & Hu, Y. (2023). Optimal operation of the green port system considering the multiport power electronic transformer in day-ahead markets. *Frontiers in Energy Research*, 11, 1120636.
- [15] Winkel, R., Weddige, U., Johnsen, D., Hoen, V., & Papaefthimiou, S. (2016). Shore side electricity in Europe: potential and environmental benefits. *Energy Policy*, 88, 584-593.
- [16] Stolz, B., Held, M., Georges, G., & Boulouchos, K. (2021). The CO2 reduction potential of shore-side electricity in Europe. *Applied Energy*, 285, 116425.
- [17] Zis, T. P. (2019). Prospects of cold ironing as an emissions reduction option. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 119, 82-95.
- [18] Chen, J., Zheng, T., Garg, A., Xu, L., Li, S., & Fei, Y. (2019). Alternative maritime power application as a green port strategy: Barriers in China. *Journal of Cleaner Production*, 213, 825-837.
- [19] Daniel, H., Trovão, J. P. F., & Williams, D. (2022). Shore power as a first step toward shipping decarbonization and related policy impact on a dry bulk cargo carrier. *eTransportation*, 11, 100150.
- [20] D'Agostino, F., Schiapparelli, G. P., Dallas, S., Spathis, D., Georgiou, V., & Prousalidis, J. (2021, August). On estimating the port power demands for cold ironing applications. In 2021 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS) (pp. 1-5). IEEE.
- [21] Yu, J., Cammin, P., & Voß, S. (2023, September). Allocation of Shore Side Electricity: The Case of the Port of Hamburg. In *International Conference on Computational Logistics* (pp. 139-153). Cham: Springer Nature Switzerland.
- [22] IEC/IEEE 80005-1 (2019). Utility connections in port — Part 1: High voltage shore connection (HVSC) systems - General requirements. International Electrotechnical Commission, Cenevre.
- [23] Spengler, T., & Wilmsmeier, G. (2016, August). Energy consumption and energy efficiency indicators in container terminals — A national inventory. In *Proceedings of the IAME 2016 Conference, Hamburg, Germany* (Vol. 1).
- [24] Ammar, N. R., & Seddiek, I. S. (2020). An environmental and economic analysis of emission reduction strategies for container ships with emphasis on the improved energy efficiency indexes. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(18), 23342-23355.
- [25] Çelebi Bandırma Uluslararası Limanı (2024). Kurumsal bilgiler – Kapasite ve Konum. <http://www.portofbandirma.com.tr/kurumsal/liman-hakkinda> (Erişim tarihi: 25 Temmuz 2026).
- [26] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024). Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA). Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Ankara.

- [27] Güney Marmara Kalkınma Ajansı (2023). Balıkesir’de enerji: Yenilenebilir enerji potansiyeli raporu. Balıkesir.
- [28] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2024). Türkiye elektrik üretimi ve elektrik tüketim noktası emisyon faktörleri bilgi formu, Ankara.
- [29] Sifakis, N., Konidakis, S., & Tsoutsos, T. (2021). Hybrid renewable energy system optimum design and smart dispatch for nearly Zero Energy Ports. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127397.

VISUAL QUALITY ASSESSMENT OF A SCENIC ROAD: THE HOPA-KOPMUŞ CASE

Postgraduate Student, Seden AŞIK

Artvin Çoruh University, Graduate Education Institute
sedenbayar08@gmail.com- ORCID ID: 0000-0002-7281-1182

Prof. Dr., BANU KARAŞAH

Artvin Çoruh University, Faculty of Art and Design, Department of Landscape Architecture
banukarasah@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0001-5079-5313

ABSTRACT

Roads are effective landscape elements in establishing physical and visual relationships between humans and nature. Greenways are routes planned with the aim of protecting nature, maximising opportunities for recreation and tourism, and preserving and restoring historical and cultural heritage and they are systems that also incorporate scenic roads. Scenic roads are important transportation corridors that offer visitors quality recreational experiences while protecting natural and cultural landscape values, and at the same time support sustainable tourism and rural development. The aim of this study was to assess the visual quality of an abandoned road in the Kopmuş area of Hopa district, Artvin province, as a scenic road, and to make assessments for its re-functionalization through proper planning. The study was conducted in two stages. In the first stage, observations were made and the areas photographed along approximately 1.3 km of the road route. In the second stage, 80 photographs were taken from the study area, and after a preliminary selection, 25 images that better represent the area were used for the visual questionnaire. To determine the visual quality of these 25 images, a questionnaire was conducted with 160 people using a 5-point Likert scale. Furthermore, to identify the parameters influencing the visual quality of the 10 photographs that received a score above 4.5, a questionnaire was conducted with 30 experts using semantic differential technique. It was determined that the color parameter had an effect on the visual quality of the selected photographs.

Keywords: Scenic roads, visual landscape quality, semantic differential technique, Hopa-Kopmuş (Artvin).

1. INTRODUCTION

With the rise of urbanization today, people are turning to natural areas with diverse landscape features. People connect with nature in these natural areas while also fulfilling their recreational activity needs. Forest scenic roads are among the top choices that can be considered natural areas. Besides providing access, these trails are also effective landscape elements in establishing physical and visual relationships between humans and nature.

Greenways can be described as a green system that connects them to one another and incorporates the natural ecosystem. In this context, greenways are systems that include scenic routes, wildlife corridors, cultural heritage sites, historic routes, riverbeds and valleys, parks,

green belts, shorelines, park paths, trails, ecological nature corridors, and existing green spaces, and that also incorporate recreational uses (Arslan et al., 2007).

While scenic roads are open to commercial traffic, they are defined as roads that primarily serve recreational purposes and incorporate recreational uses such as areas with high natural and cultural potential, picnic areas, campgrounds, trails for horseback riding and cycling, and sports facilities (Sezen, 2018). The main purpose of a scenic route is to provide visitors with the opportunity to enjoy the experience by stopping to take in the unique sights or activities along the way and offering chances to admire the interesting scenery. Visitors should have the opportunity to enjoy a stroll along the scenic road and take in the surroundings. This road and corridor should present visitors with natural and artificial landscape objects such as nature, history, geology, or land use patterns (Yücel, 2015). Traveling along scenic roads allows visitors to enjoy the viewpoints at a slower speed than on main highways. This allows visitors to fully appreciate the surroundings. When designing road alignments that must be compatible with the roadside landscape, proper advance planning is a top priority. When alignments are designed appropriately and in accordance with the landscape, situations that could have a negative impact on people—such as obstructing the view or making the journey monotonous—are avoided. Visitors' perception values also vary depending on road design principles and traffic speed. For example, the visual perception value on scenic roads—which are slower and more winding—differs from that on roads with higher traffic speeds. This visual impact value changes with the planned arrangements to be made for the roadsides that need to be completed (Erdem, 2019).

The aim of this study was to evaluate the visual quality of an abandoned road located in the Kopmuş area of the Hopa district in Artvin Province as a scenic route, and to assess its potential for repurposing through proper planning.

2. MATERIAL and METHOD

The Kopmuş forest scenic road, chosen as the study area, is in Hopa district of Artvin city in the Eastern Black Sea region of Turkey (Figure 1). Kopmuş is a settlement under the jurisdiction of the village of Esenkıyı in Hopa. The starting point of the study area is where the forest road connects to the D-010 highway, and the endpoint is the route where the scenic view meets the sea; this distance is approximately 1,300 meters. This corridor forms the material of the study. Before the construction of the Black Sea Coastal Road, the study area was actively used for transportation and trade, but today it is only used for access to tea gardens.

The study's methodology consisted of fieldwork and questionnaires. Along the corridor, which was the study area, researchers moved slowly by vehicle, identifying 80 points and taking photographs from these points. The photographs taken were preliminarily screened by the researchers, and 25 of them were used in the visual questionnaire. First, the sample size was calculated. Based on the formula from Kalıpsız (1981), the sample size was determined to be 72 at a 95% confidence interval. However, to increase the confidence level, the questionnaire was conducted with 160 people.

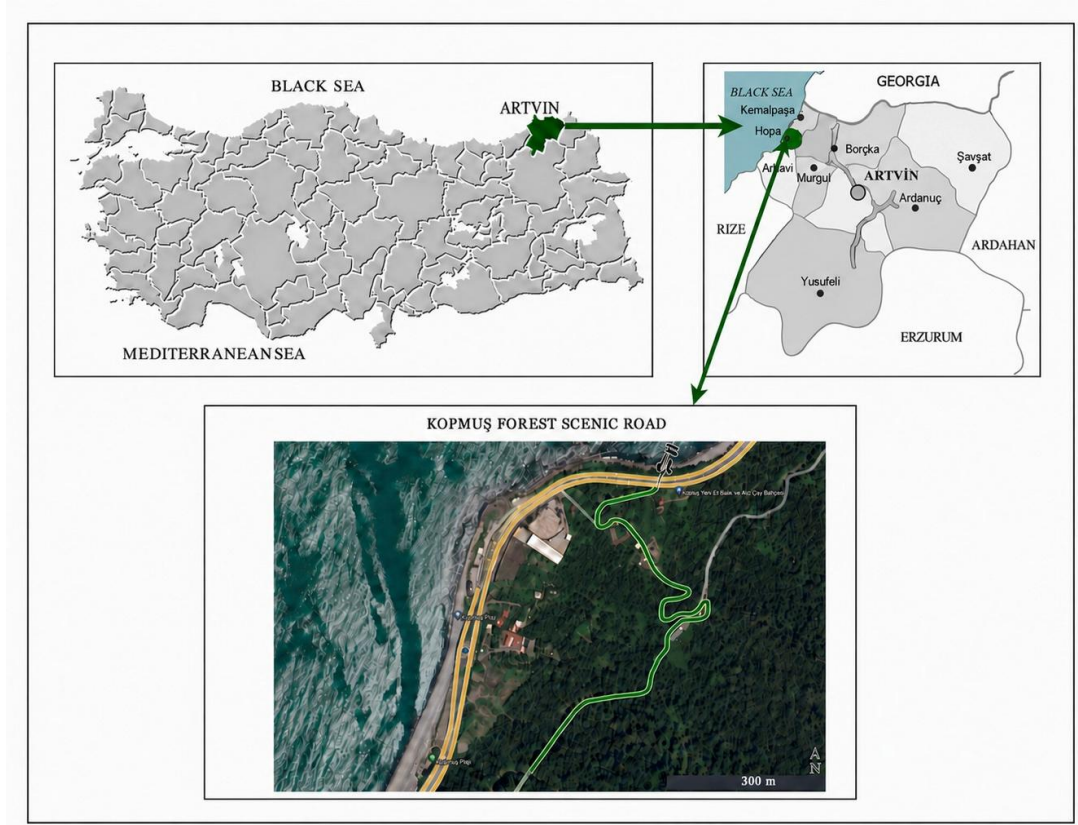


Figure 1. Study area

The visual survey was conducted in two stages. First, 160 participants were asked about the visual quality of the images. A 5-point Likert attitude scale was used to assess the visual quality of the images. In the evaluation, users were asked, “Does this photo have high visual quality?” and were asked to provide their assessments. On a 5-point scale, users rate the photos from 1 to 5. Users are given the options of 'Strongly disagree, disagree, undecided, agree, strongly agree' on the 5-point scale, and their level of agreement with each judgment is determined for each image. In the second phase of the questionnaire, 10 images with high visual appeal were selected, and expert questionnaires were conducted to determine the parameters affecting the visual quality of these images. The semantic differentiation technique was used to identify the effective parameters. The semantic differentiation technique was developed by Osgood et al. (1957), and this scale is expressed using a scale consisting of pairs of opposite adjectives (Acar et al., 2003). The pairs of adjectives used in the questionnaire were evaluated by 30 experts. The identified adjective pairs are: “high visual quality – low visual quality”, “interesting – ordinary”, “satisfying – boring”, “vivid – dull”, “diverse – monotonous”, “restful – tiring”, “new – familiar”, “distinctive – ordinary”, “inviting – uninviting”, “landform effective – landform ineffective”, “plant diversity effective – plant diversity ineffective,” “colour effective – colour ineffective.”

3. RESULTS

In the study, the researchers conducted fieldwork along the scenic road corridor. They took 80 photographs along the corridor, capturing the unique scenery created by the interplay of green

and blue. By eliminating similar images, they selected 25 images that better represented the area for use in the questionnaire. Based on the evaluations of 160 participants, 10 photographs with a visual quality rating above 4.5 were selected for expert evaluation (Figure 2).

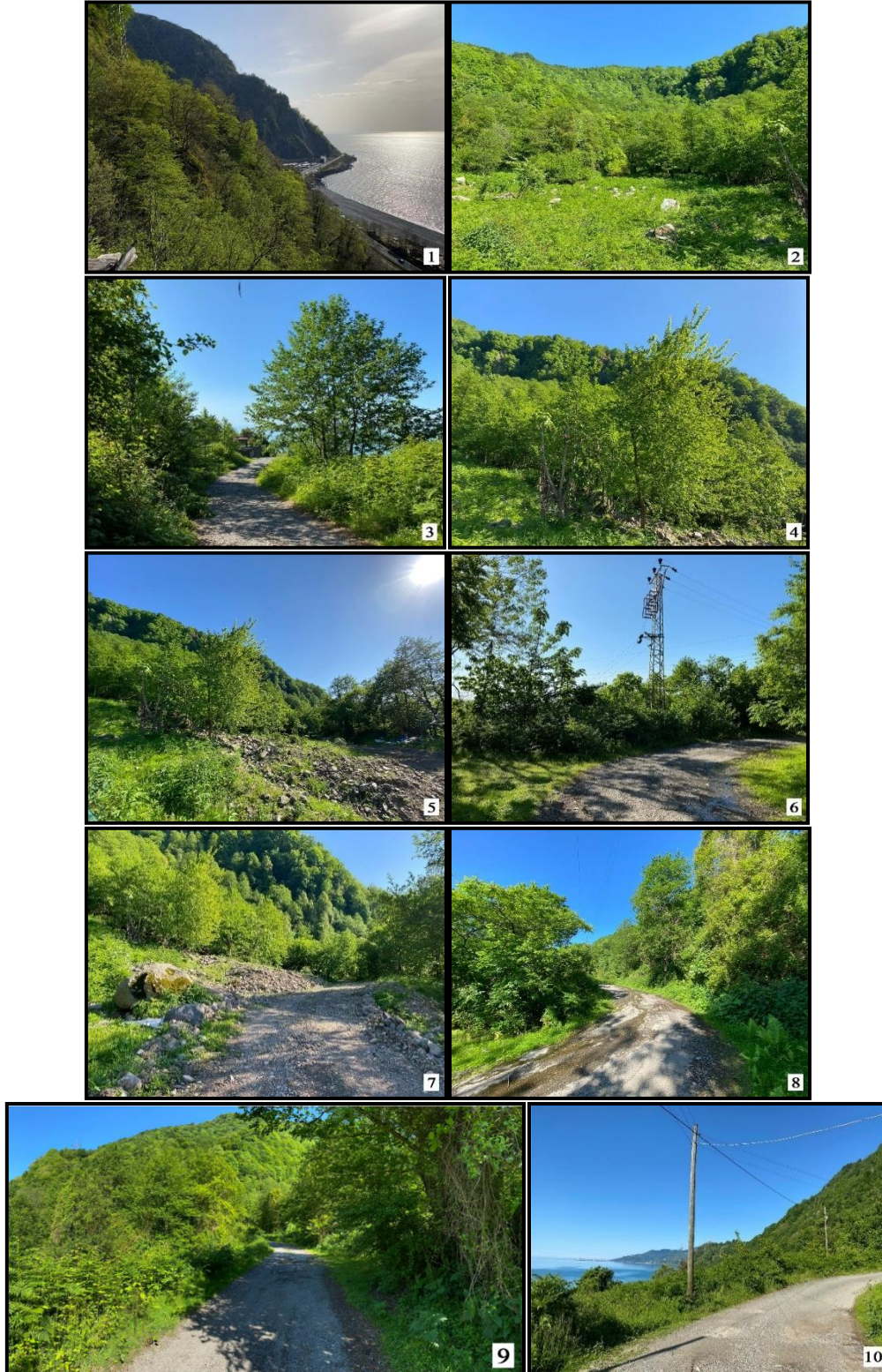


Figure 2. Ten photographs used in expert questionnaire

The shooting locations and angles of these images are as shown in Figure 3.



Figure 3. Points and angles of the images used in the expert questionnaire study

A questionnaire was conducted with 30 experts (landscape architects) to identify the parameters that influence images with high visual quality scores. Each of the 10 images was evaluated separately.

Upon examining the visual quality values of the 10 images, it was determined that their scores were, in order, 1.030, 1.1552, 1.517, 0.931, 1.069, 0.034, 1.310, 1.241, 1.379, and 1.103. It was determined that image No. 2 had the highest visual quality value, while image No. 6 had the lowest (Figure 4).



Figure 4. Images with the highest and lowest visual quality scores

When the parameters for each image were evaluated separately, the findings were as follows: The visual quality score for Image No. 1 was calculated as 1.030. The parameters identified as potentially influencing visual quality were “interesting” (1.270), “pleasing” (1.130), “restful” (1.379), “landform effective” (1.310), and “plant diversity and colour effective” (1.00). It was found that the “restful” parameter had the highest value among these parameters (Figure 5).

The visual quality score for Image No. 2 was determined to be 1.552. The parameters identified as potentially influencing image quality were “interesting” (1.276), “pleasing” (1.310), “vivid”

(1.448), “diverse” (1.00), “restful” (1.310), “landform effective” (1.207), and “colour effective” (1.448). It was found that the “vivid” and “colour effective” parameters had the highest values (Figure 6).

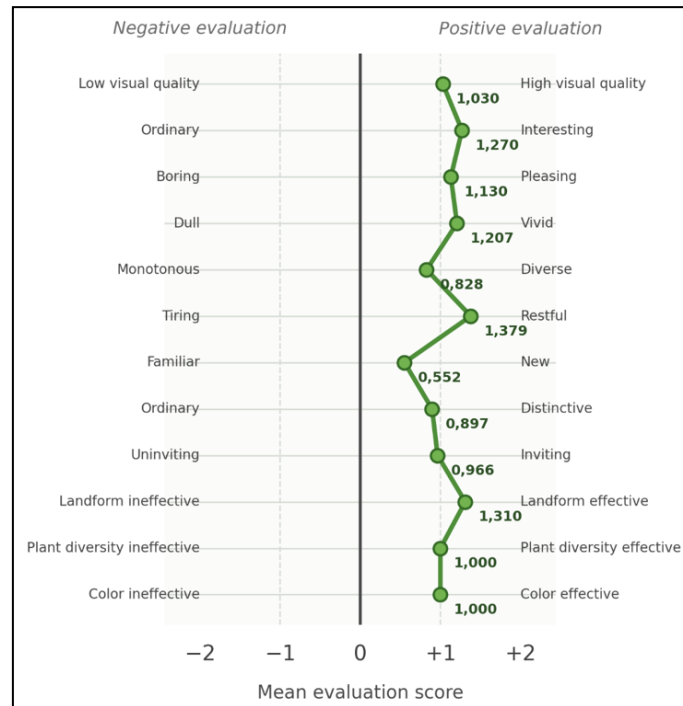


Figure 5. Values related to image number 1

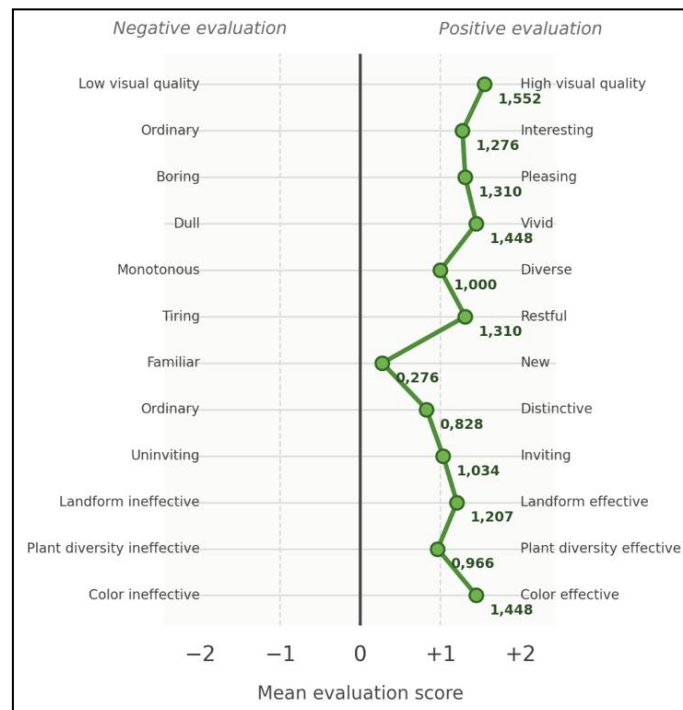


Figure 6. Values related to image number 2

The image with a visual quality score of 1.517 is image number 3. The parameters identified as potentially influencing visual quality are interesting (1.483), pleasing (1.552), vivid (1.621),

diverse (1.345), restful (1.276), inviting (1.552), plant diversity effective, and colour effective (1.345). It was found that the “vivid” parameter had the highest value among these parameters (Figure 7).

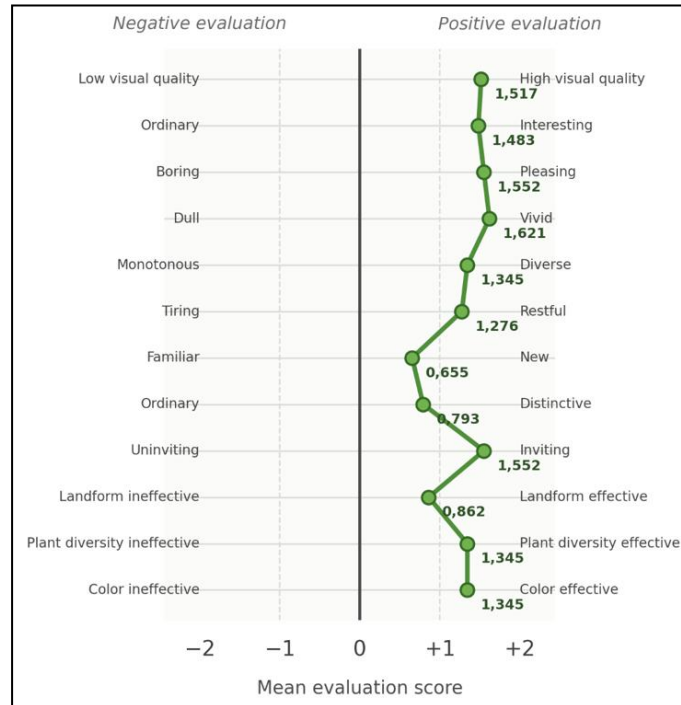


Figure 7. Values related to image number 3

The visual quality score of Image No. 4 was determined to be 0.931. It was determined that the parameter most influential on visual quality was the plant diversity effective (1.276). This parameter also had the highest value (Figure 8).

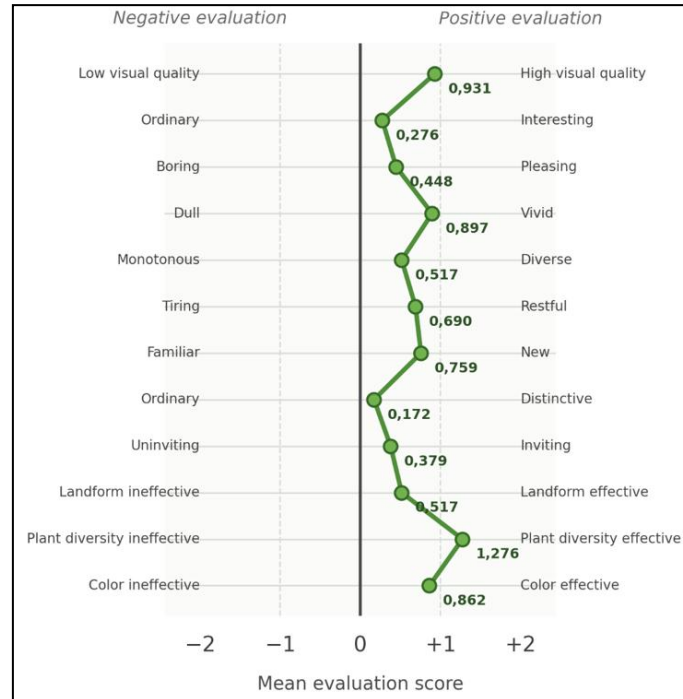


Figure 8. Values related to image number 4

Image No. 5 has a visual quality score of 1.069. The parameters that may influence visual quality are vivid (0.931), landform effective (0.897), and colour effective (0.897). It was determined that the vivid parameter had the highest value among these parameters (Figure 9).



Figure 9. Values related to image number 5

The visual quality score for Image No. 6 was determined to be 0.034. It was determined that the parameters that could affect visual quality are landform effective (0.897) and colour

effective (1.276). These parameters also had the highest values. Although this image scored high in visual value based on a questionnaire of 160 participants, experts found its visual value to be neither high nor low (Figure 10). It is thought that the cultural landscape element (electrical pole) in the image negatively affects the quality value.



Figure 10. Values related to image number 6

Image No. 7 has a visual quality score of 1.310. It was determined that the parameters that may influence visual quality are “interesting” (1.00), “pleasing” (1.069), “vivid” (1.034), “diverse” (1.138), and “landform effective” (1.138). It was found that the “vivid” parameter had the

highest value among these parameters. It was also determined that the “diverse” (1.138) and “landform effective” (1.138) parameters achieved the highest values (Figure 11).

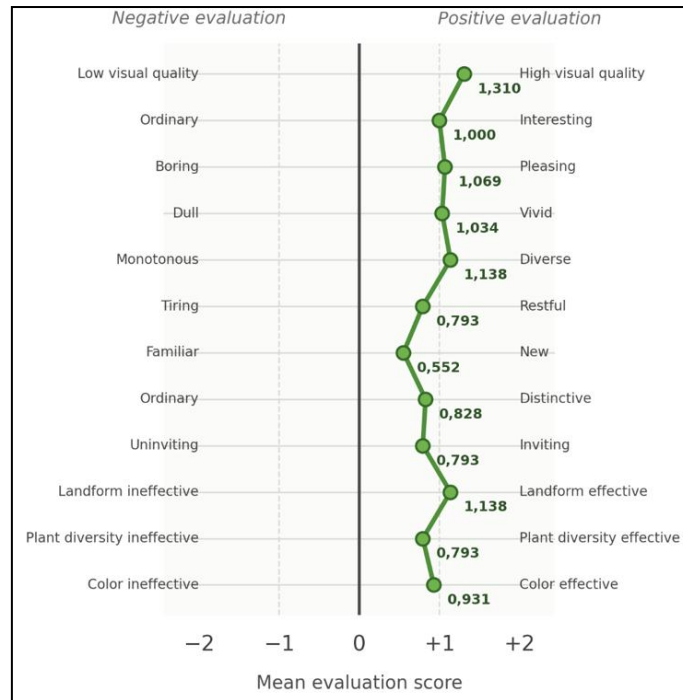


Figure 11. Values related to image number 7

The visual quality score of Image No. 8 was determined to be 1.241. The parameters identified as potentially influencing image quality were “interesting” (1.034), “vivid” (1.276), “diverse” (1.345), and “plant diversity effective” (1.069). Among these parameters, the “vivid” parameter was found to have the highest value (Figure 12).

Image No. 9 has a visual quality score of 1.379. The parameters identified as influencing visual quality were “interesting” (1.103), “pleasing” (1.172), “vivid” (1.103), “diverse” (1.034), “landform effective” (1.172), plant diversity effective (1.172), and color effective (1.069). Among these parameters, the ones with the highest values were found to be “pleasing,” “landform effective,” and “plant diversity effective” (Figure 13).

The visual quality score of Image No. 10 was determined to be 1.103. The parameters identified as potentially influencing image quality were “vivid” (1.034), “landform effective” (1.138), and “color effective” (1.310). Among these parameters, the “color effective” parameter was found to have the highest value (Figure 14).

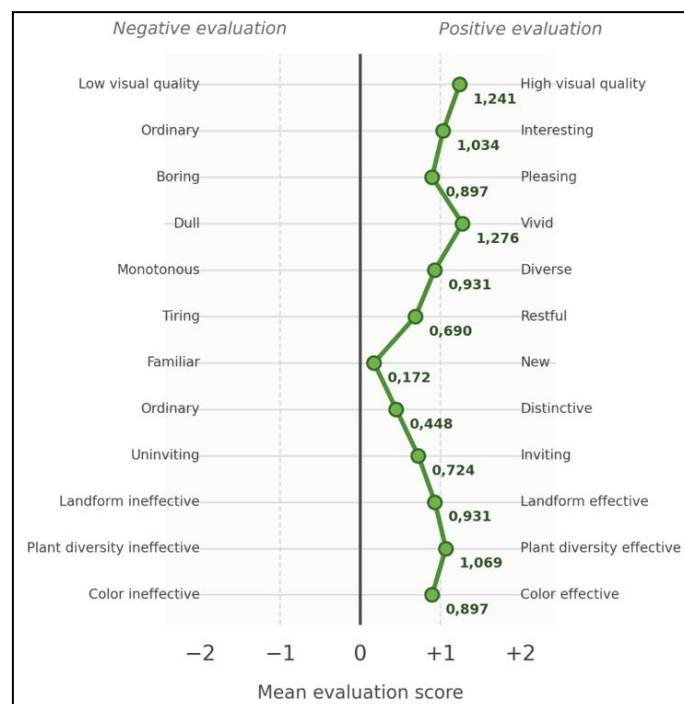


Figure 12. Values related to image number 8

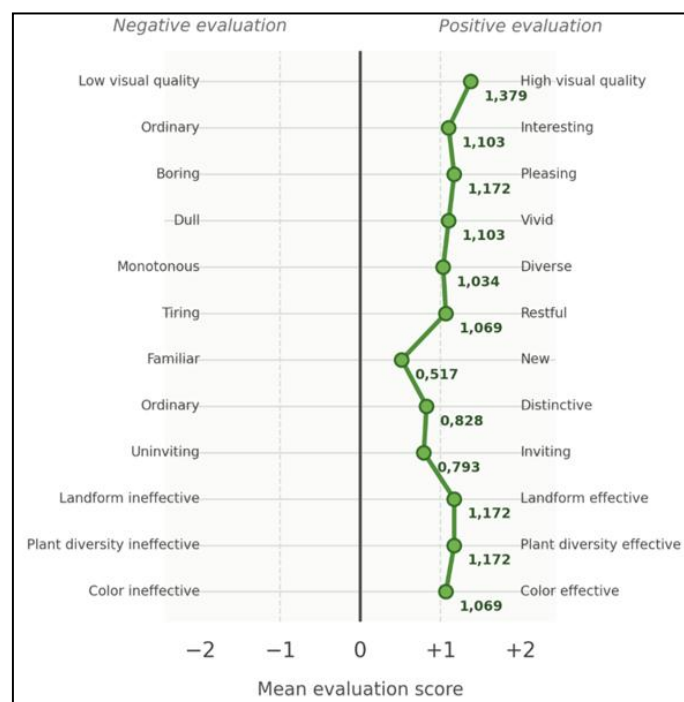


Figure 13. Values related to image number 9

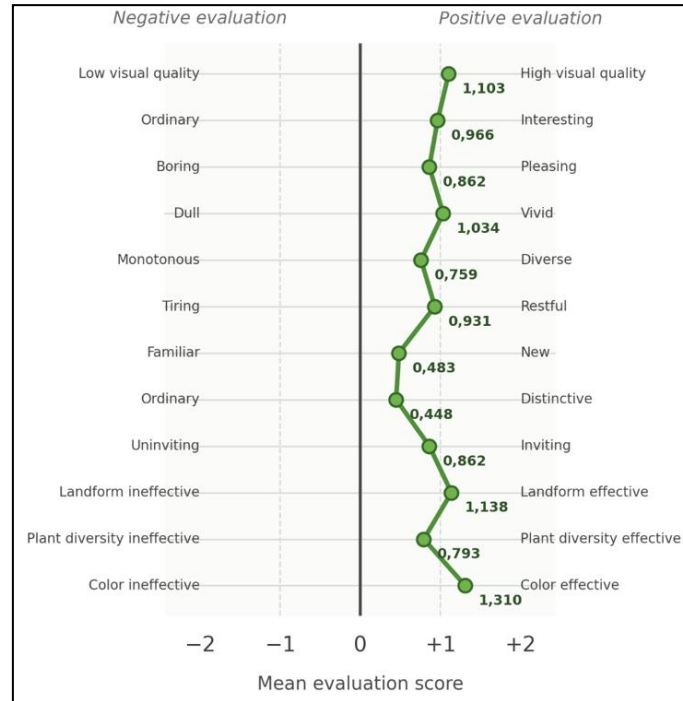


Figure 14. Values related to image number 10

4. CONCLUSION and SUGGESTIONS

This study conducted a visual assessment of a forest road that could be considered a scenic route. Both public and expert questionnaires were conducted as part of the study. Of the 10 images rated as having high visual quality in the public surveys, it was found that experts did not consider only 2 of them to have high visual value. At this point, it can be said that the assessments of the public and experts are in line with one another. The assessments conducted revealed that the “colour effective” parameter was influential in many images with high visual quality scores. In addition, it can be said that the parameters “interesting,” “pleasing,” “vivid,” “landform effective,” and “plant diversity effective” were also influential.

In many studies (Sarı and Karaşah, 2015; Karaşah, 2017; Türker et al., 2022; Demirbaş Özcan and Sezen, 2023; Güngör et al., 2023; Demir and Doygun), it has been observed that photographs are used to measure and evaluate the visual quality of a landscape, and that the scores assigned to these photographs are based on how much they are liked. In this study, photographs were also evaluated. The visual character of a space has an impact on the choice of spaces and user satisfaction. Forest roads offer not only unique habitats but also visually surprising landscapes. Ensuring public participation in the visual assessment of such areas will be effective in the conservation and sustainability of these ecosystems. By designating such underutilized areas as scenic routes and conducting visual quality assessments in these areas, these routes will not only be integrated into ecotourism but will also provide opportunities for various recreational activities. Such areas should be incorporated into planning, design, and management processes while maintaining a balance between conservation and use, and their visual resource values should be identified. This will enhance the economic, ecological, and aesthetic value of these areas.

REFERENCES

- Acar, C., Demirbaş, E., Dinçer, P., Acar, H. Anlamsal Farklılaşım Tekniğinin Bitki Kompozisyonu Örneklerinde Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 1, 15-28, 2003.
- Arslan, M., Barış, E., Erdoğan, E. ve Dilaver, Z. *Yeşil Yol Planlaması Ankara Örneği*. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, 2007.
- Demir, P., Doygun, H. İnciraltı Kent Ormanı'nın Görsel Peyzaj Kalite Yönünden Değerlendirilmesi, Turkish Journal of Forestry, 26, 4, 646-656, 2025.
- Demirbaş Özcan, Y., Sezen, İ. Tarihi Yapı ve Çevrelerinin Görsel Peyzaj Kalite Analizi: Trabzon Kenti Örneği, Türkiye Peyzaj Araştırmaları Dergisi, 6, 2, 201-214, 2023.
- Erdem, G. *Rekreasyon Amaçlı Kullanılan Orman Yollarının Koruma Kullanım Prensibi Kapsamında Değerlendirilmesi (Aydos Ormanı Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- Güngör, O., Tokgöz, G. Görsel Peyzaj Kalite Değerlendirmesi: İskenderun-Arsuz Sahil Bandı Örneği, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 1, 776-791, 2023.
- Kalıpsız, A. *İstatistik Yöntemler*, İÜ Orman Fakültesi, İstanbul, 1981.
- Karaşah, B. Orman Yollarının Görsel Peyzaj Değerlendirmesi: 'Kafkasör-Mersivan Yolu Örneği, Artvin', Kastamonu Üniversitesi Ormancılık Fakültesi Dergisi, 17,3, 404-413, 2017.
- Osgood, C.E., Suci, G.J. and Tannenbaum, P.H. *The Measurement of Meaning*, The University of Illinois Press, New York., 1957.
- Türker, H. B., Metin, A. E., Balıkçı, O. Kent Parklarının Görsel Peyzaj Kalitesi Yönünden İncelenmesi: İstanbul Esenyurt İlçesi Örneği, Turkish Journal of Forest Science, 6(2), 377-399, 2022.
- Sarı, D., Karaşah B. Hatila Vadisi Milli Parkı'nda (Artvin) Yer Alan Farklı Vejetasyon Tiplerinin Görsel Değerlendirmesi Üzerine Bir Çalışma, Turkish Journal of Forestry, 16, 1, 2015.
- Sezen, I. Karayolu Peyzajı ve Manzara Yolları, Mimarlık Bilimleri ve Uygulamaları Dergisi (MBUD), 3, 1, 54-65, 2018.
- Yücel, B. *Orman İçi Yolların Rekreasyon Amaçlı Kullanımının İncelenmesi (Bartın-Amasra Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın, 2015.

ASSESSMENT OF THE RECREATIONAL POTENTIAL OF A FOREST ROAD AND ITS SURROUNDINGS: THE HOPA-KOPMUŞ (ARTVİN) EXAMPLE

Postgraduate Student, Seden AŞIK

Artvin Çoruh University, Graduate Education Institute
sedenbayar08@gmail.com- ORCID ID: 0000-0002-7281-1182

Prof. Dr., BANU KARAŞAH

Artvin Çoruh University, Faculty of Art and Design, Department of Landscape Architecture
banukarasah@artvin.edu.tr-ORCID ID: 0000-0001-5079-5313

ABSTRACT

Forest roads, which facilitate forestry activities, also provide access to recreational areas. A wide range of recreational activities such as hiking, cycling, nature observation, camping, and photography can be carried out on these roads. In addition, these roads have a visual value that leaves a lasting impression on the users. A road and its surroundings in the Hopa-Kopmuş (Artvin) area, characterised by its existing vegetation cover and sea views, have been selected as the study area to offer visitors the opportunity to experience the harmony of green and blue hues. The aim was to determine the recreational potential of this area according to the Gülez method. The Gülez method, which offers a systematic evaluation, the area's landscape values, climatic values, accessibility, recreational facilities and negative factors were analysed under these main headings. As a result of the assessments, it was determined that the recreational potential of the study area is 62%, which meets its high recreational potential. Landscape value (30%) and then climate value (14%) were identified as the most influential parameters affecting this high potential. Identifying such areas with recreational potential and integrating them into tourism through proper planning will contribute to the sustainability of these ecosystems.

Keywords: Recreational potential, Gülez method, Hopa-Kopmuş (Artvin)

1. INTRODUCTION

Although technological advancements allow individuals to have more leisure time, factors such as urbanization, demanding work lives, and environmental problems cause individuals to be physically and mentally tired and unhappy. Connecting with nature plays a key role in minimizing these negative effects.

Sökmen and Yener (2022) defined recreation as activities in which people utilize their leisure time and rejuvenate themselves. Demirel (1999) states that the need for outdoor recreation is met by forests, unspoilt natural areas, and protected areas with natural and cultural features (Aksu, 2015). Forests are the most preferred outdoor recreation areas due to their natural, cultural and visual values (Akten, 2003). The natural conditions required for outdoor recreation are best found in and around the forest. The values that recreation can offer to an individual reach their highest levels within the natural environment of the forest. As a symbol of nature in every conceivable respect, the forest possesses physical and sensory characteristics that attract

people, revitalise them and allow them to experience the beauties of life; these are so numerous and varied that they cannot be compared with those of other rural settings (Pehlivanoglu, 1974; Sü Eröz and Aslan, 2017).

Forest roads are, in short, roads located within a forest that systematically penetrate all parts of the forest, thereby facilitating the rational management of the forest (Hasdemir and Demir, 2000). Forest roads offer an unspoilt view in terms of their scenery. Their scenic characteristics, recreational facilities and the scenic routes that run alongside them are defining features of forest roads (Erdem, 2019).

The aim of this study was to identify the recreational potential of an unused forest road and its immediate surroundings, and to integrate the area into tourism.

2. MATERIAL and METHOD

The study material consists of an abandoned road and its immediate surroundings, covering an area of approximately 6 hectares, located in Esenkıyı village, Hopa district, Artvin province, in the Eastern Black Sea Region of Turkey (Figure 1). The reason for selecting this area as a study site is that it has the potential to facilitate active recreational activities and boasts unique landscape features.

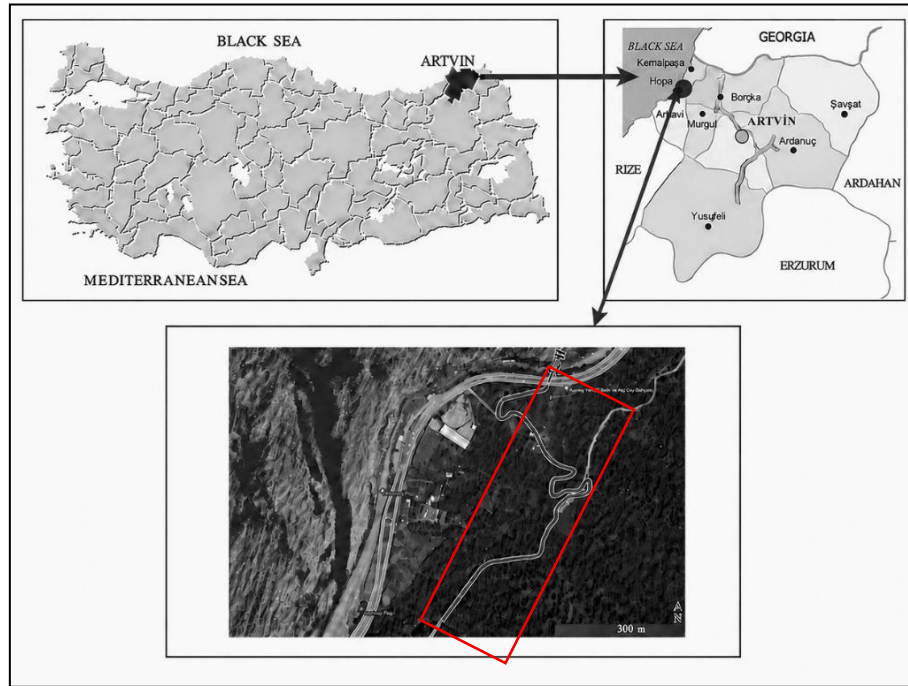


Figure 1. Study area

The study employed the method for determining the recreational potential of forests developed by Gülez (1990), which has also been used in numerous recent studies (Koca and Deniz, 2025; Çağlayan, 2025; Gündüz, 2025; Öztürk et al., 2025; Uzun and Zaman, 2025).

The Gülez method is an analysis technique based on a numerical scoring system that enables the systematic evaluation of natural, cultural, and recreational elements. Thanks to this method, the area's existing characteristics were made comparable according to standard criteria, and its

recreational capacity was objectively determined (Koca and Deniz, 2025). Gülez (1990) developed a method based on the principle of assigning weighted scores to five elements present in forest recreation areas (landscape value, climate value, accessibility, recreational facilities, and negative factors) that would facilitate the identification of outdoor recreation potential. This method assigns scores to these five elements included in the “Forest Recreation Potential Assessment Form,” and it provides a highly practical calculation method that uses a mathematical formula to easily determine recreation potential. The sum of the points that the elements in the formula below can receive, expressed as a percentage, indicates an area’s outdoor recreation potential (Gülez, 1990).

The formula for the method developed by Gülez (1990) to determine the recreational potential of forest areas, along with the score ranges for the recreational potential values, are presented below (Tables 1–2). In this study, the assessments were conducted in the field by five experts, with the support of photographs and videos.

The formula is: $RP (\%) = P + I + U + RK + OSE$.

Table 1. Components of the formula and the scores they can be awarded (Gülez, 1990)

Symbol	Meaning	Maximum Score (Weighted Score)
P	Landscape Value	35
I	Climate	25
U	Accessibility	20
RK	Recreational Facilities	20
OSE	Negative Factors	0(minimum-10)
%RP	Recreational Potential	100

Table 2. Recreational potential values

Potential	Value
Very Low	Less than 30%
Low	Between 30 %- 45%
Medium	Between 46%- 60%
High	Between 61%- 75%
Very High	More than 75%

3. RESULTS

When the findings from the assessments were calculated using the formula, it was determined that the area’s recreational potential was 62%.

When the study area is evaluated in terms of its landscape value;

The study area received 3 points because it covers an area of approximately 6 ha. In terms of vegetation, the study area received 8 points for this criterion because it includes wooded areas, shrublands, and grasslands. In terms of sea, lake, and river parameters, the study area received 8 points because it is located on the seashore. In terms of surface conditions, the study area received 3 points because it consists of gently sloping terrain with flat areas in some places. In terms of visual quality, the study area received 3 points because it offers both panoramic and

scenic views. Finally, in terms of other characteristics, it received 5 points because it is a natural environment (Table 3).

Table 3. Results of the landscape value scoring

Landscape Value (P)	Characteristics of the Factor	Points Scored
	Area	3
	Vegetation	8
	Sea, lakes, rivers	8
	Surface Condition	3
	Visual Quality	3
	Other Characteristics	5

The climatic characteristics of the study area were obtained from the Turkish State Meteorological Service. Of the climate parameters, temperature received a score of 3, precipitation 7, sunshine 3, and windiness 1 (Table 4).

Table 4. Results of the climate value scoring

Climate Value (İ)	Characteristics of the Factor	Points Scored
	Temperature	3
	Precipitation	7
	Sunshine	3
	Windiness	1

When the study area was evaluated in terms of accessibility;

In terms of the parameter of the region's tourist significance, the study area received 3 points because it is in the Black Sea Region. In terms of the parameter that the region must include a city with a population of at least 100,000, it received 3 points because it is located 90 km from the city of Rize, which has a population of 346,947. It received 4 points for the travel time parameter, as the work site can be reached within 1 hour. It received 2 points for the accessibility parameter, as the site can be reached on foot, and 1 point for other conveniences (Table 5).

Table 5. Accessibility score results

Accessibility (U)	Characteristics of the Factor	Points Scored
	Tourist significance of the region in which it is located	3
	The region must contain a town with a population of at least 100,000	3
	Travel time	4
	Transport (excluding taxis and private cars)	2
	Other transport facilities	1

When evaluated in terms of recreational facilities, it received the lowest scores—except for water quality—because, although there are no existing facilities, the area does have the potential for such amenities (Table 6).

Table 6. Results of the recreational facilities value scoring

Recreational Facilities (RK)	Characteristics of the Factor	Points Scored
	Picnic facilities	1
	Water supply	2
	Accommodation facilities	1
	Toilets	1
	Country café, snack bar	1
	Caretaker and staff	1
	Other amenities	1

When the study area was evaluated in terms of negative factors, it received a score of -1 due to being in a neglected and abandoned state, and a score of -2 due to soil erosion occurring because of having a sloping road (Table 7).

Table 7. Scoring results for negative factors

Negative factors (OSE)	Characteristics of the Factor	Points Scored
	Air Pollution	0
	Lack of safety	-2
	Water Pollution	0
	Neglect	-1
	Noise	0
	Other Adverse Factors	0

Based on evaluations conducted according to Gülez's (1990) method, the landscape value of the recreational area (presence of vegetation, presence of water sources, topographic structure, visual quality) scored 30 out of 35 points for landscape value, 14 out of 25 points for climate value, 13 out of 20 points for accessibility value, and 8 out of 20 points for recreational facility value. From the total of these scores, a negative factor value of -3 out of -10 points was subtracted (Figure 2).

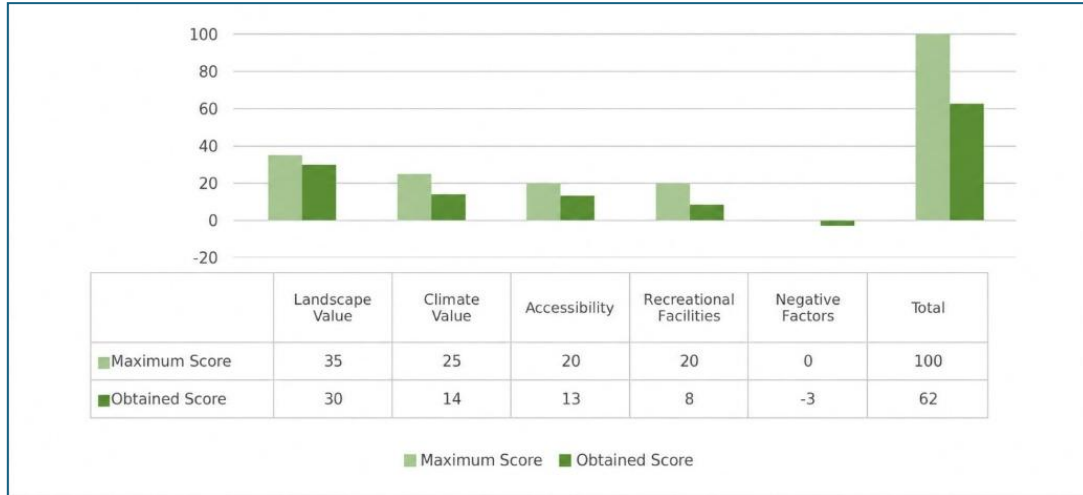


Figure 2. Maximum achievable values according to the Gülez Method and the values obtained by the study area.

When these values were substituted into the formula and calculated, it was found that the recreational potential of the study area was 62 %, and that this value corresponded to the ‘high’ category within the recreational potential range.

$$RP (\%) = P + \dot{I} + U + RK + OSE$$

$$62 \% = 30\% + 14 \% + 13\% + 9\% + -3\%$$

4. CONCLUSION and SUGGESTIONS

Based on an assessment of this study in accordance with Gülez (1990), the data obtained and the average values calculated indicate that the Kopmuş route and its immediate surroundings have a ‘high’ recreational potential. According to the Gülez method, it has been determined that the study area possesses high scores in terms of landscape and climatic value. However, sustainable solutions addressing accessibility, recreational facilities and other negative factors (lack of safety, neglect) will contribute to the area.

The study area offers many recreational activity opportunities. Activities that can be carried out in the area include:

- Hiking-Trekking
- Running
- Cycling
- Picnic Activities-Food-Drinks
- Camping-Tent camping
- Mountaineering
- Photography
- Bird watching
- Scenic views
- Meditation
- Nature education
- Horse riding

- Wildlife observation

The lack of facilities to meet the needs of visitors has negatively impacted the recreational potential of the area. These needs can be met by providing facilities that are in harmony with the area. These needs can be met by providing facilities that are in harmony with the area. Such facilities should be situated whilst maintaining a balance between conservation and use.

The fact that this road, which used to be open to commercial traffic, is now scarcely used—and is even largely unknown—has led to the area falling into disrepair. Increasing the number of existing Kemalpaşa-Hopa minibuses would also be effective in facilitating easier access to and from the area. It is believed that the recreational potential of the area will further increase with the elimination of deficiencies in infrastructure, superstructure, etc., in the coming period. Effective promotional activities are recommended to increase the recognition of the study area.

REFERENCES

- Aksu, Ö.V. Korunan Doğal Rekreasyon Alanlarında Donatı Elemanlarının Tasarımları: Altındere Vadisi Milli Parkı Örneği. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 15, 2, 267-278, 2015.
- Akten, M. Isparta İlindeki Bazı Rekreasyon Alanlarının Mevcut Potansiyellerinin Belirlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A, 2, 115–132, 2003.
- Çağlayan, M. N. Kovada Gölü Milli Parkı'nın Rekreasyon Potansiyelinin Belirlenmesi, Türk Ormancılık Dergisi, 26, 1, 77-86, 2025.
- Demirel, Ö. Çoruh Havzası (Yusufeli kesimi) Doğal Kaynak Değerlerinin Rekreasyon ve Turizm Potansiyeli Açısından Değerlendirilmesi Üzerine Bir Araştırma, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 23, 5, 1103-1112, 1999.
- Erdem, G. *Rekreasyon Amaçlı Kullanılan Orman Yollarının Koruma Kullanım Prensibi Kapsamında Değerlendirilmesi (Aydos Ormanı Örneği)*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- Gülez, S. Orman İçi Rekreasyon Potansiyelinin Belirlenmesi için Bir Değerlendirme Yöntemi, I.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri A, 40, 2, 132-147, 1990.
- Gündüz, H. E. Gülez Yöntemi esas alınarak Eğirdir Gölü ve Çevresindeki Arazi Kullanım Önerilerinin Rekreasyonel Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Türk Ormancılık Dergisi, 26, 4, 631-645, 2025.
- Hasdemir, M., Demir, M. Türkiye’de Orman Yollarını Karayollarından Ayıran Özellikler ve Bu Yolların Sınıflandırılması, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 50, 2, 86-90, 2000.
- Koca, C., Deniz, S. Erzurum Abdurrahman Gazi Ekoturizm Alanı’nın Gülez Yöntemine Göre Rekreasyonel Değerlerinin Belirlenmesi, Mavi Atlas, 13, 2, 443-463, 2025.
- Öztürk, Y., Güzel, M., Yeşil, P. Kıyı Alanlarının Rekreasyonel Potansiyelinin Değerlendirilmesi: Altınordu ve Gülyalı (Ordu) Örneği, GSI Journals Serie A: Turizm Rekreasyon ve Spor Bilimlerindeki Gelişmeler, 8, 2, 661-676, 2025.
- Pehlivanoglu, M.T. Rekreasyon ve Orman İçi Rekreasyon Planlaması, İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, 26, 2, 142-170, 1976.

Sökmen, E. D., Yener, Ş. D. Bentler Tabiat Parkı'nın Rekreasyon Potansiyelini Değerlendirmeye Yönelik Bir Çalışma, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13, 2, 176-188, 2022.

Sü Eröz, S., Aslan, E. Istranca Yıldız Ormanlarının Rekreasyon Potansiyelinin Gülez Metodu ile Değerlendirilmesi, Kesit Akademi Dergisi, 9, 83-107, 2017.

Uzun, B., Zaman, M. Paşaca Şelalesi Tabiat Parkının Rekreasyon Potansiyeli, Doğu Coğrafya Dergisi, 30, 54, 13-28, 2025.

SOLVOTHERMALLY SYNTHESIZED INDIUM GALLIUM ZINC OXIDE (IGZO) FOR HIGH-PERFORMANCE SELF-POWERED UV-VISIBLE PHOTODETECTORS

Dr. Ahmet Emre KASAPOĞLU

Atatürk University East Anatolia High Technology Application and Research Center,
Erzurum, 25240, Türkiye

ahmetemrekspl@gmail.com, aemre.kasapoglu@atauni.edu.tr – 0000-0002-4261-5113

ABSTRACT

Indium gallium zinc oxide (IGZO) nanoparticles (NPs) were synthesized via a solvothermal method using a three-neck reactor and employed as an interfacial layer in an Au/IGZO/n-Si/Al heterojunction photodetector. The influence of the IGZO interlayer on the device performance was systematically investigated. The synthesized NPs were characterized by transmission electron microscopy (TEM), scanning electron microscopy (SEM), energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS), UV–Vis spectroscopy, and micro-Raman spectroscopy. EDS analysis confirmed the expected elemental composition of IGZO, while optical bandgap values of 3.11 and 3.65 eV, obtained from UV–Vis measurements, demonstrated the suitability of the NPs for UV-sensitive optoelectronic applications. Electrical characterization revealed that the incorporation of the IGZO interlayer significantly enhanced the diode performance by increasing the forward current and suppressing the reverse leakage current, indicating improved junction quality and carrier transport. The ideality factor (n), barrier height (Φ_b), and saturation current (I_0) were determined to be 1.57, 0.80 eV, and 3.59×10^{-9} (A), respectively. Under white-light and 395 nm ultraviolet (UV) illumination, the fabricated photodetector exhibited a strong photoresponse and generated a measurable photocurrent at zero bias, confirming self-powered operation. The device achieved maximum ON/OFF current ratios of 2.16×10^5 and 6.05×10^4 , responsivities of 0.092 and 0.106 A W⁻¹, and specific detectivities (D^*) of 6.73×10^{11} and 8.02×10^{11} Jones under white-light and UV illumination, respectively. An external quantum efficiency of 25.12% at zero bias, increasing to 33.33% at -2 V, further demonstrated efficient photocarrier generation and collection. These results highlight the potential of solvothermally synthesized IGZO NPs as an effective interfacial material for high-performance, self-powered, UV-sensitive silicon photodetectors.

Keywords: Self-Driven, Metal oxide, Photosensitive device, Solvothermal method

1. INTRODUCTION

Photodetectors are fundamental optoelectronic devices that convert incident optical radiation into electrical signals and play an indispensable role in modern technologies, including flame detection, optical communication, environmental monitoring, chemical sensing, astronomy, biomedical diagnostics, imaging systems, artificial intelligence, Internet of Things (IoT) platforms, LIDAR, and facial recognition. The rapid development of these technologies has driven increasing demand for photodetectors featuring low power consumption, compact device architectures, fast response, and high sensitivity. Moreover, the ability to detect UV, visible, and near-infrared radiation within a single platform offers significant advantages by reducing system complexity, fabrication cost, and device footprint [1, 2].

Although silicon-based photodetectors dominate commercial applications owing to their mature fabrication technology and excellent electrical properties, the relatively narrow bandgap of silicon (~ 1.12 eV) results in strong sensitivity to visible light, limiting intrinsic UV selectivity and often necessitating additional optical filters. Consequently, wide-bandgap semiconductors such as ZnO, GaN, Ga₂O₃, SiC, diamond, and NiO have attracted considerable attention for UV photodetection because of their visible-blind characteristics, high breakdown field, and superior thermal stability. Depending on the device configuration, photodetectors are commonly realized as Schottky junctions, p–n junctions, metal–semiconductor–metal (MSM) structures, and photoconductors. While photoconductive devices generally provide high gain and simple fabrication, persistent photoconductivity often results in slow recovery times. In contrast, p–n heterojunctions utilize the built-in electric field to efficiently separate photogenerated electron–hole pairs, enabling low dark current and self-powered operation without an external bias [1–3].

Among various metal oxide semiconductors, amorphous indium gallium zinc oxide (a-IGZO) has emerged as one of the most promising materials for optoelectronic applications owing to its high carrier mobility, low leakage current, excellent optical transparency, and compatibility with large-area, low-temperature fabrication processes [4,5]. Possessing a wide optical bandgap of approximately 3.05 eV or higher, IGZO is particularly suitable for UV photodetection while effectively suppressing unwanted visible-light absorption. In addition to conventional vacuum deposition techniques, solution-based fabrication approaches have attracted increasing attention because they provide low-cost processing, facile composition control, and scalability for large-area device fabrication [6]. Among these methods, solvothermal synthesis offers excellent control over particle size, crystallinity, and compositional homogeneity under relatively mild reaction conditions, making it an attractive route for preparing high-quality IGZO nanomaterials for optoelectronic applications.

Despite these advantages, IGZO-based photodetectors still suffer from several challenges, including limited spectral selectivity, relatively slow response and recovery times, device instability, and persistent photoconductivity. These issues are largely associated with oxygen vacancies, surface trap states, residual organic species, and defect levels within the bandgap. Although such defects may enhance photocurrent generation, they can also increase dark current, induce undesirable visible-light sensitivity, and deteriorate long-term device stability.

Accordingly, numerous strategies have been proposed to improve the performance of IGZO photodetectors, including heterojunction engineering, contact optimization, surface passivation, molecular doping, defect regulation, and interface engineering, all of which aim to improve carrier separation while suppressing defect-assisted recombination [1, 7-9].

Recent studies have demonstrated that integrating IGZO with complementary semiconductor materials can significantly improve UV selectivity, reduce dark current, and enable self-powered photodetection. In particular, heterojunction engineering has proven to be an effective strategy for enhancing carrier transport and interfacial charge separation. Nevertheless, most reported IGZO-based photodetectors rely on sputtered or thin-film IGZO layers [2], whereas the use of solution-synthesized IGZO NPs as an interfacial layer has remained largely unexplored. Furthermore, systematic investigations into the influence of solvothermally synthesized IGZO NPs on the performance of silicon-based heterojunction photodetectors under different working conditions are still scarce.

In this work, IGZO NPs were synthesized via a solvothermal method and employed as an interfacial layer in an Au/IGZO/n-Si/Al heterojunction photodetector. The morphology, composition, and optical properties of the synthesized NPs were comprehensively characterized by TEM, SEM-EDS, Raman and UV–Vis spectroscopy. The effects of the IGZO interlayer on the electrical characteristics, self-powered photoresponse, responsivity, external quantum efficiency, and detectivity of the fabricated device under white-light and 395 nm UV illumination were systematically investigated. To the best of our knowledge, this study represents the first report of solvothermally synthesized IGZO NPs employed as an interfacial layer in an Au/IGZO/n-Si/Al heterojunction photodetector, demonstrating an effective interface-engineering strategy for realizing high-performance self-powered UV photodetectors.

2. EXPERIMENTAL SECTION

2.1. Chemicals and Substrate Preparation

Materials used in the synthesis of IGZO NPs. Indium (III) acetylacetonate [$\text{In}(\text{acac})_3$] was used as the indium source, gallium (III) acetylacetonate [$\text{Ga}(\text{acac})_3$] as the gallium source, and zinc acetate dihydrate [$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] as the zinc source. All chemicals were purchased from Sigma-Aldrich and used as received without any further purification. An n-type silicon wafer with a resistivity of 1–10 $\Omega \cdot \text{cm}$ was used as the substrate. Prior to deposition, the substrates were cleaned using the conventional RCA cleaning procedure to remove organic and inorganic contaminants. Acetone, propanol, ammonium hydroxide, hydrogen peroxide, and hydrochloric acid were used during the cleaning process. All chemicals used were of analytical grade and were not subjected to any additional purification.

2.2. Synthesis of IGZO NPs

The synthesis of IGZO NPs was carried out in a four-neck round-bottom reaction flask under an inert atmosphere. In a typical synthesis, 0.5 mL of oleylamine (OLA) and 2.0 mL of 1-octadecene (ODE) were added to the reaction flask. Subsequently, indium (III) acetylacetonate [$\text{In}(\text{acac})_3$; 0.10 mmol, 41.21 mg], gallium (III) acetylacetonate [$\text{Ga}(\text{acac})_3$; 0.10 mmol, 45.44 mg], and zinc acetate dihydrate [$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; 0.10 mmol, 29.3 mg] were introduced

into the reaction medium. The reactor was isolated from ambient air and purged with argon gas to establish an inert atmosphere. The reaction mixture was heated in a controlled manner under magnetic stirring. Initially, the mixture was maintained at 120 °C for 15 min to remove residual moisture and volatile species. The temperature was then increased to 260 °C. During heating, a yellowish color change was observed, particularly in the 220–240 °C range. This color change was associated with the conversion of the metal precursors and the nucleation/growth processes of IGZO NPs. After the reaction mixture was kept at approximately 260 °C for 15 min, it was allowed to cool. To promote rapid cooling, the four-neck reactor was removed from the heating jacket, and the mixture was allowed to cool to approximately 80 °C. After cooling, hexane was added to dilute the dispersion and facilitate product collection. The resulting mixture was centrifuged at 1000 rpm for 10 min to separate the particulate product from the supernatant.

2.3. Device Fabrication Process and Measurement Setup

Figure 1 schematically illustrates the fabrication process, device architecture, and electrical measurement configuration of the Au/IGZO/n-Si/Al heterojunction photodetector. Prior to fabrication, the n-type Si substrate was cleaned using the standard RCA procedure to eliminate organic residues, metallic impurities, and native surface contaminants. Subsequently, a 150 nm-thick aluminum (Al) layer was thermally evaporated onto the rear side of the substrate to establish a low-resistance ohmic contact.

The IGZO NPs, previously dispersed in hexane to form a stable colloidal suspension, were then deposited onto the polished front surface of the n-Si/Al substrate via a drop-casting process. To facilitate solvent removal, minimize nanoparticle aggregation, and improve the uniformity of the interfacial layer, the deposited sample was thermally treated on a hot plate at 60 °C for 1 h. Finally, circular Au electrodes with a thickness of 60 nm were thermally evaporated onto the IGZO-coated surface through a shadow mask, thereby completing the heterojunction device. The active area of each photodetector, determined by the shadow-mask aperture, was calculated to be $7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$.

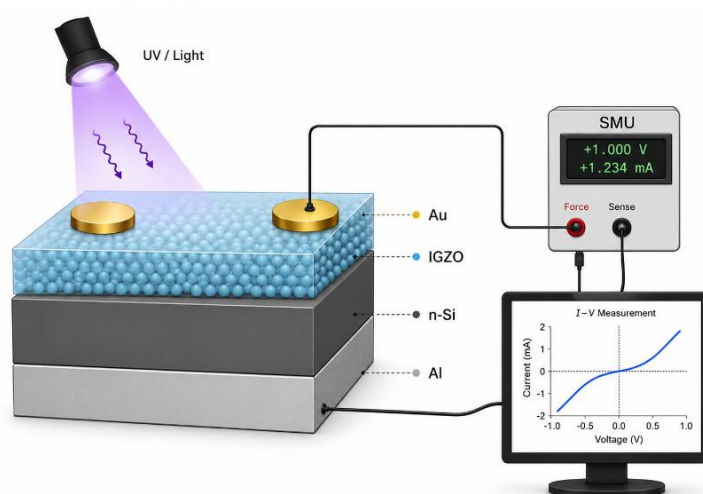


Figure 1. Schematic illustration of the Au/IGZO NPs/n-Si/Al heterojunction photodetector and its measurement setup

2.4. Material Characterization

The morphology and microstructural characteristics of the synthesized IGZO NPs were examined using a Hitachi HT7700 transmission electron microscope (TEM) operated at an accelerating voltage in the range of 40–120 kV. Surface morphology, cross-sectional film thickness, and elemental composition of the deposited IGZO layer were characterized using a ZEISS Sigma 300 field-emission scanning electron microscope (FE-SEM) equipped with an energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) detector. The optical properties of the IGZO NPs were investigated by UV–Vis spectroscopy using a Shimadzu UV-3600 Plus spectrophotometer, and the optical bandgap was determined from the corresponding absorption spectra. Structural characterization was further carried out using a WITec alpha300R Raman microscope with an excitation wavelength of 532 nm. To avoid laser-induced heating or damage to the sample during Raman measurements, the excitation laser power was maintained at 3 mW throughout the analysis.

3. RESULTS and DISCUSSION

Figure 2 shows the TEM image of the IGZO NPs, revealing densely agglomerated clusters composed of primary NPs with sizes in the range of 5–20 nm. The absence of distinct rod-like or plate-like morphologies further indicates the formation of predominantly homogeneous oxide nanoparticles rather than anisotropic crystal growth. This morphology suggests that separate ZnO, In₂O₃, or Ga₂O₃ phases did not develop into large, well-defined crystalline structures with characteristic sharp features. Instead, the observed structure is consistent with previously reported literature, where In–Ga–Zn–O systems typically form nearly spherical nanoparticle agglomerates with particle sizes of approximately 4–8 nm [10].

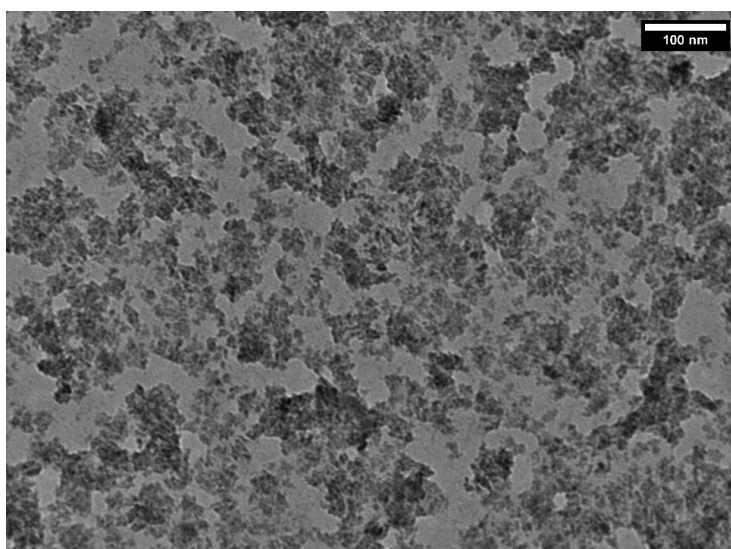


Figure 2. TEM image of the synthesized IGZO NPs

Figure 3 presents the surface morphology, cross-sectional view, and elemental composition of the solvothermally synthesized IGZO NPs. As shown in the SEM micrographs (Figure 3a,b), the deposited IGZO layer consists of densely packed nanoparticle agglomerates with a rough

and non-uniform surface morphology [11]. The NPs are interconnected to form irregular granular clusters, which can be attributed to their high surface energy and the consequent tendency to aggregate during solvent evaporation and thermal treatment. Similar nanogranular morphologies have been widely reported for solution-processed IGZO materials prepared by sol-gel, co-precipitation, and related wet-chemical synthesis routes [12, 13]. Rather than forming a compact and continuous dense film, the deposited layer exhibits a partially porous network composed of aggregated NPs. The cross-sectional SEM image (inset of Figure 3a) reveals that the deposited IGZO interfacial layer possesses an average thickness of approximately 237 nm. The formation of a continuous oxide layer with submicrometer thickness demonstrates that the drop-casting process successfully covered the Si substrate and produced a well-defined interfacial layer suitable for enhancing device performance. The EDS spectrum obtained from the IGZO layer (inset of Figure 3b) confirms the presence of O, Zn, Ga, and In, verifying the successful formation of the In-Ga-Zn-O composition. Oxygen exhibits the highest atomic concentration (61.1 at.%), consistent with the oxide nature of the synthesized material. Among the metallic constituents, Zn is the dominant cation with weight and atomic percentages of 41.3 wt.% and 24.7 at.%, respectively, whereas Ga and In are present at 7.6 and 6.6 at.%, respectively. Based on the measured atomic concentrations, the approximate cationic composition can be expressed as In:Ga:Zn $\approx$ 1:1.15:3.74. Considering the semi-quantitative nature of EDS analysis, these values should be regarded as approximate compositional ratios. Overall, the SEM and EDS results demonstrate that the solvothermal synthesis route successfully produced a homogeneous IGZO NP layer with the expected elemental composition, making it suitable for application as an interfacial layer in the fabricated Au/IGZO/n-Si/Al heterojunction photodetector.

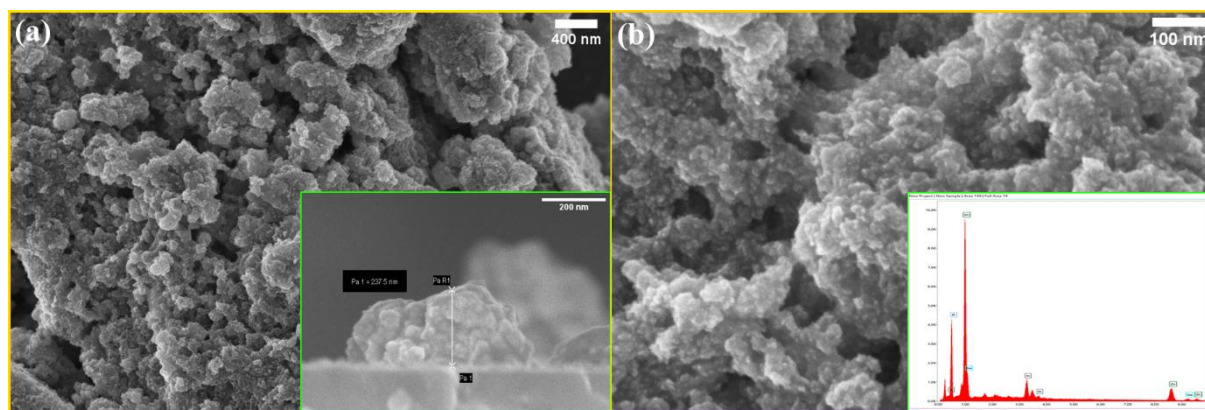


Figure 3. Morphological and compositional characterization of the solvothermally synthesized IGZO NP layer. (a) Low-magnification SEM image with the cross-sectional view shown in the inset. (b) High-magnification SEM image with the corresponding EDS spectrum shown in the inset

Figure 4 (a) presents the UV-Vis absorption spectrum of the IGZO NPs recorded over the wavelength range of approximately 250–700 nm, while Figure 4 (b) shows the corresponding Tauc plot used to estimate the optical band-gap energy. The optical band gap was estimated from the UV-Vis absorbance data using the Tauc relation for a direct allowed electronic

transition [14]. The IGZO NPs, characterized as a colloidal suspension in a quartz cuvette, exhibited band gap energies of 3.11 and 3.65 eV [15-17]. These values fall within the band gap range commonly reported for IGZO (approximately 3.0–3.8 eV), confirming the successful formation of a wide-bandgap semiconductor [16, 18]. The presence of two characteristic transition energies may be associated with localized defect states, compositional inhomogeneity, or size-dependent electronic effects that are frequently observed in multicomponent oxide semiconductors. Furthermore, variations in stoichiometry, oxygen-vacancy concentration, and structural disorder are known to influence the optical absorption edge of IGZO, leading to slight differences in the estimated band gap. The wide optical band gap obtained in this study is advantageous for ultraviolet photodetection, as it suppresses visible-light absorption while promoting efficient UV photoresponse.

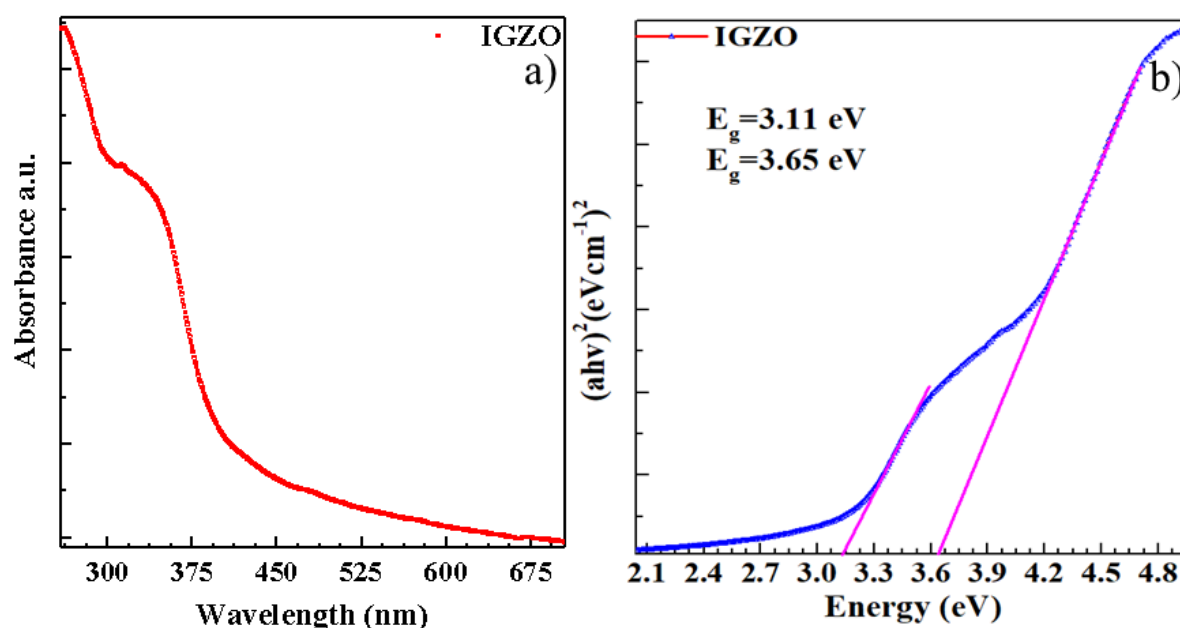


Figure 4. (a) UV–Vis absorption spectrum and (b) Tauc plot of the IGZO NPs

Figure 5 shows the Raman spectrum of the IGZO NPs, revealing characteristic vibrational modes associated with the metal–oxygen network. The band observed at 217 cm^{-1} in the low-wavenumber region is in good agreement with the $\sim 213\text{ cm}^{-1}$ E_g mode attributed to the In–O bonding in In–Ga–Zn–O systems. In addition, the peaks at 361 and 406 cm^{-1} correspond well to the vibrational ranges of $330\text{--}363\text{ cm}^{-1}$ and $405\text{--}470\text{ cm}^{-1}$, respectively, which are commonly assigned to Zn–O related vibrational modes. These features collectively confirm the presence of an IGZO-like amorphous metal–oxygen network composed of interconnected In–O and Zn–O bonds [19, 20]. The bands seen at 458 and 535 cm^{-1} in the intermediate wavenumber range can be regarded as contributions from a mixed In/Zn/Ga–O metal–oxygen network rather than from an isolated single bond vibration. The Raman band in the vicinity of 500 cm^{-1} in a-IGZO films has been assigned to stretching vibrations of oxide octahedral units in the literature, while the FTIR region of $450\text{--}535\text{ cm}^{-1}$ of In–Ga–Zn–O systems has been given to In–O vibrations [20, 21]. The most significant spectral area is observed between 577 and 645 cm^{-1} , which gives

strong evidence for the production of IGZO. The Raman peaks at 575 and 657 cm^{-1} are compatible with the reported Raman peaks for InGaZnO_4 in this area. Also, the broad band at 575–670 cm^{-1} in In-Ga-Zn-O systems has been attributed to Ga–O stretching vibrations. This leads to the conclusion that the bands in this region should not be exclusively linked to the ZnO $\text{A}_1(\text{LO})$ mode but rather to the joint contribution of Ga–O stretching, Zn–O LO/defect associated vibrations and bridging In/Zn/Ga-O-M network vibrations [19, 20]. The Raman bands for a-IGZO thin films at 1050 cm^{-1} and 1089–1096 cm^{-1} match with the bands at 1010–1045 cm^{-1} and 1085 cm^{-1} in the high wavenumber range. These bands have been attributed to stretching vibrations of oxide octahedral structures or to frequency doubling of the ZnO $\text{A}_1(\text{LO})$ mode. However, the band at 870 cm^{-1} has not been directly assigned to a distinctive Raman mode of IGZO in the published IGZO literature. Therefore, it should be seen as a secondary fitting component or a small contribution rather than direct proof for the major IGZO phase [21, 22].

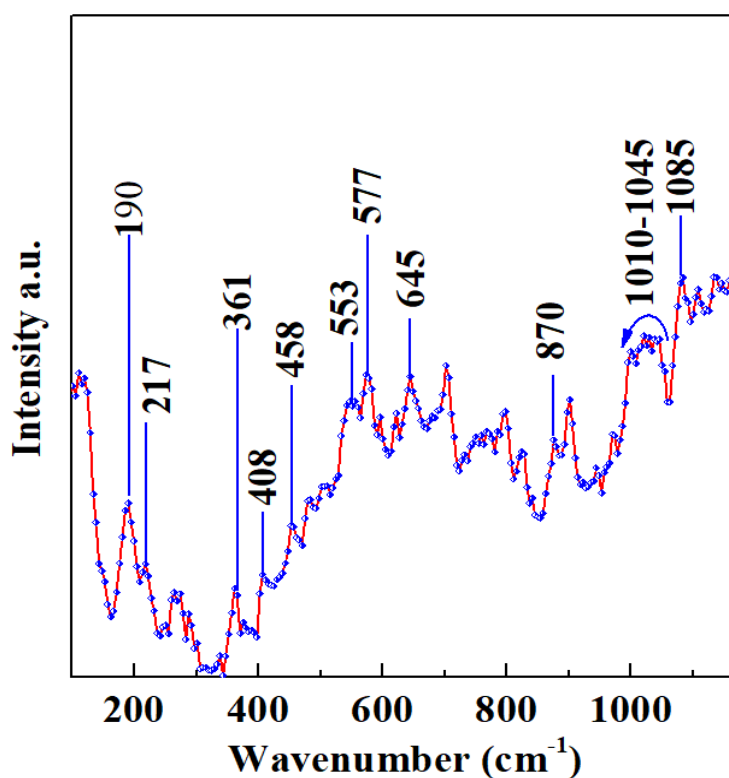


Figure 5. Raman spectrum of the synthesized IGZO NPs

Following the structural, morphological, compositional, and optical characterizations performed using SEM-EDS, TEM, UV–Vis, and Raman spectroscopy, I–V measurements were carried out to investigate the electrical characteristics of the fabricated devices. Figure 6 presents the dark I–V characteristics of the reference and IGZO-integrated devices measured at room temperature. As can be clearly observed, the incorporation of the IGZO layer significantly influences the electrical behavior of the device. Both device structures exhibit rectifying characteristics, confirming the successful formation of a junction. However, the IGZO/n-Si device demonstrates enhanced diode performance compared to the reference device.

Specifically, the forward current increases considerably, whereas the reverse leakage current decreases after the introduction of the IGZO layer. The simultaneous enhancement of forward conduction and suppression of reverse current indicates an improvement in junction quality and carrier transport properties. To quantitatively evaluate the diode characteristics, the main electrical parameters, including the ideality factor (n), barrier height (Φ_b), and saturation current (I_0), were extracted using the thermionic emission (TE) theory. Detailed descriptions of the TE model, the associated equations, and the parameter extraction procedure can be found in our previous reports [23, 24] as well as in related literature studies [25, 26]. The calculated values are summarized in Table 1. Furthermore, the obtained parameters were compared with those reported for similar oxide-based heterojunction devices in the literature to assess the effectiveness of the solvothermally synthesized IGZO layer. The comparison reveals that the proposed device exhibits competitive electrical characteristics, highlighting the suitability of IGZO as a functional interfacial layer for high-performance optoelectronic applications.

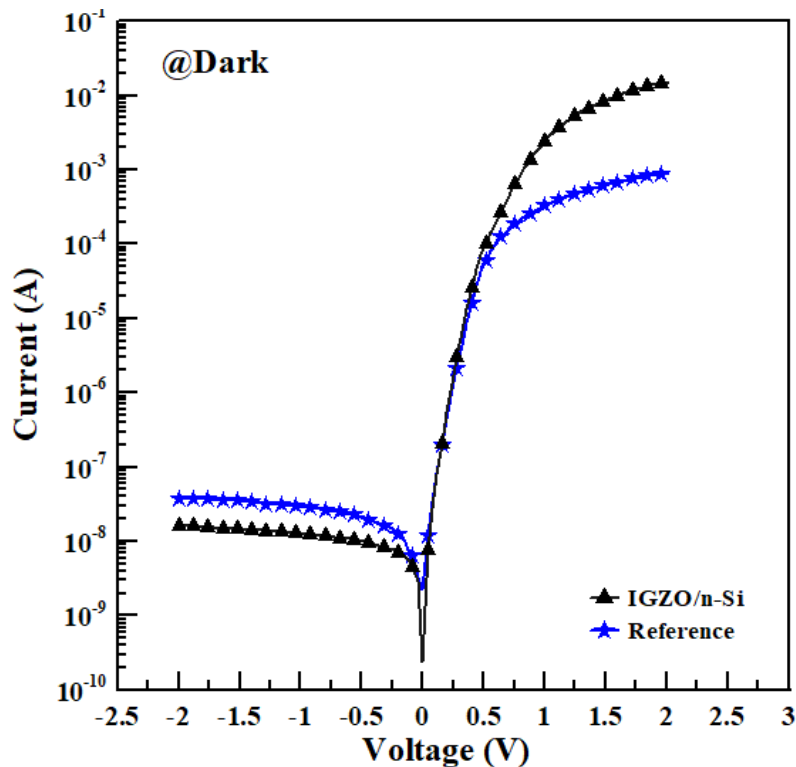


Figure 6. Semi-logarithmic I-V characteristics of the reference and IGZO/n-Si devices measured in the dark at room temperature

Table 1. Main electrical parameters of the IGZO/n-Si device, compared with literature reports

Device	Test Condition	I_0 (A)	n	Φ_b (eV)	RR ($\pm 2V$)	Reference
IGZO/n-Si	Dark, RT	3.59×10^{-9}	1.57	0.80	9.36×10^5	This work
Au/n-Si/Al (reference)	Dark, RT	5.89×10^{-9}	1.81	0.78	2.41×10^4	
Sm ₂ O ₃ /n-Si	Dark, RT	2.28×10^{-9}	1.59	0.81	7.46×10^5	[23]

MgO/n-Si	Dark, RT	-	2.73	0.79	-	[26]
ZnO/p-Si (8min)	Dark, RT	4.45×10^{-9}	1.2	0.9	-	[27]
ZnO/p-Si (12min)		1.6×10^{-6}	1.6	0.79		
ZnO/p-Si (16min)		2.3×10^{-6}	1.63	0.78		
SnO ₂ /n-Si	Dark, RT	-	3.72	0.62	-	[28]
ZnO/n-Si	Dark, RT	4.38×10^{-7}	2.05	0.71	-	[29]
In ₂ O ₃ /n-Si	Dark, RT	1.48×10^{-6}	2.19	0.68		
Al ₂ O ₃ /n-Si	Dark, RT	3.30×10^{-8}	1.23	0.77		
IGZO ₃ /p-Si	Dark, RT	-	6.07	0.71	1.26	[30]

To evaluate the photoresponse characteristics of the fabricated device, I–V measurements were performed under dark conditions, white-light illumination (100 mW cm^{-2}), and UV irradiation (395 nm). The obtained I–V curves are presented in Figure 7. As shown in Figure 7, the electrical characteristics of the IGZO/n-Si device are strongly affected by light irradiation. Upon exposure to either UV or white-light illumination, the reverse-bias current increases significantly compared to the dark condition, whereas only a slight variation is observed in the forward-bias region. This behavior is a typical characteristic of photosensitive heterojunction photodetectors, indicating efficient photocarrier generation and collection under illumination. The enhanced reverse current can be attributed to the generation of electron–hole pairs within the photoactive region of the device upon light absorption. Under reverse bias, the built-in electric field across the IGZO/n-Si heterojunction efficiently separates the photogenerated carriers and drives them toward the respective electrodes, leading to a substantial increase in photocurrent. The larger photocurrent observed under white-light illumination compared to the dark condition demonstrates the capability of the device to effectively respond to visible wavelengths, while the pronounced response under 395 nm irradiation confirms its UV sensitivity. In contrast, the forward-bias current exhibits only a limited change under illumination. This behavior is attributed to the dominance of the externally injected carriers under forward-bias conditions, which reduces the relative contribution of photogenerated carriers to the total current. Consequently, the influence of light irradiation becomes less apparent in the forward-bias region. Apart from the bias-dependent photoresponse discussed above, an additional noteworthy feature of the fabricated device is its ability to generate a measurable photocurrent even at zero external bias. As clearly illustrated in Figure 7, the IGZO/n-Si heterojunction exhibits a distinct photoresponse under both UV and white-light illumination in the absence of an applied voltage, confirming the presence of an intrinsic photovoltaic effect. This zero-bias photocurrent arises from the built-in electric field established at the IGZO/n-Si interface, which enables efficient spatial separation of photogenerated electron–hole pairs without the need for external power input. Under illumination, the generated charge carriers are driven in opposite directions by this internal field and collected at the

respective electrodes, resulting in a detectable current at 0 V bias. This behavior unambiguously verifies the self-powered (self-driven) operation of the device. Such self-powered functionality is highly advantageous for low-energy optoelectronic systems, as it eliminates the requirement for external bias while maintaining a stable photoresponse. Furthermore, the persistence of a clear photocurrent at zero bias, together with the strong modulation of current under reverse-bias conditions, indicates efficient carrier generation, separation, and transport across the heterojunction interface.

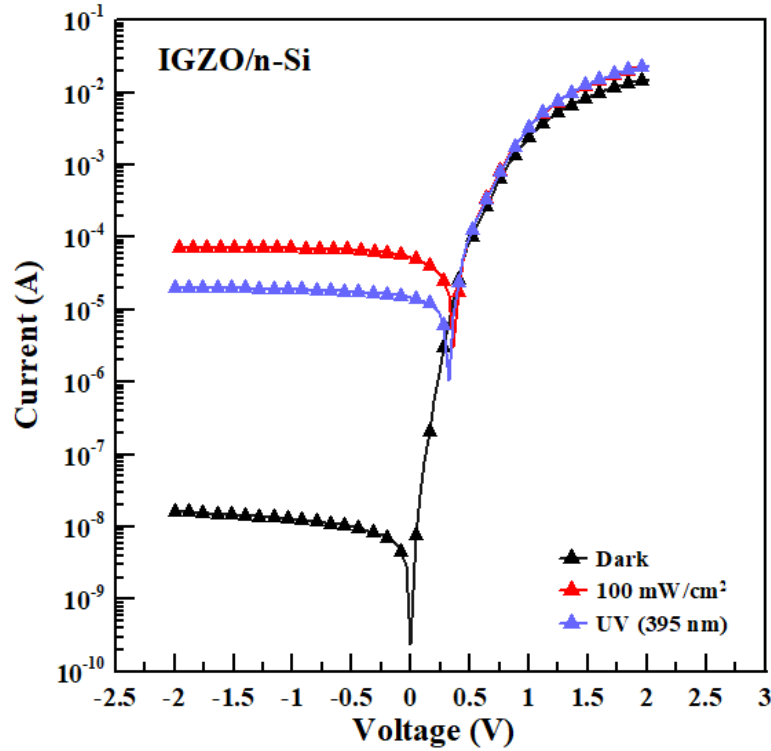


Figure 7. I–V characteristics of the IGZO/n-Si device under dark and illuminated conditions (white light: 100 mW cm⁻²; UV: 395 nm) at room temperature

To further quantify the photoresponse performance of the IGZO/n-Si photodetector under illumination, key figures of merit including the ON/OFF current ratio, responsivity (R), specific detectivity (D*), and external quantum efficiency (EQE) were evaluated as a function of applied bias voltage. The ON/OFF current ratio is defined as the ratio of the photocurrent (I_p) to the dark current (I_d) at a given bias voltage, and it represents the ability of the device to distinguish between illuminated and dark states. A higher on/off ratio indicates improved photosensitivity and signal discrimination capability. Responsivity is a fundamental parameter that describes the electrical output generated per unit optical power incident on the active area of the device. It reflects the efficiency of the photodetector in converting incident photons into electrical current. The D* is used to evaluate the capability of the photodetector to detect weak optical signals in the presence of noise. It is strongly influenced by the dark current and is therefore an important parameter for assessing device sensitivity and noise performance. The EQE represents the percentage of incident photons that are converted into charge carriers contributing to the photocurrent, providing direct insight into the photon-to-electron conversion

efficiency of the device. The corresponding parameters were calculated using standard photodetector equations reported in the literature, based on the measured photocurrent, dark current, incident optical power density, and active device area [31, 32].

Figure 8 illustrates the voltage-dependent behavior of (a) ON/OFF current ratio, (b) R, (c) D*, and (d) EQE, respectively. As shown in Figure 8 (a), the ON/OFF current ratio increases progressively with decreasing applied bias and attains its maximum value at zero bias. In particular, the highest on/off ratios of approximately 2.16×10^5 and 6.05×10^4 are achieved under white-light and UV illumination, respectively, at 0 V. This behavior can be attributed to the reduced dark current contribution at low bias, while the photocurrent remains relatively stable due to the efficient separation and collection of photogenerated carriers driven by the built-in electric field at the IGZO/n-Si heterojunction. With increasing applied bias, the dark current increases more rapidly than the photocurrent, resulting in a gradual decrease in the ON/OFF current ratio. The inset of Figure 8 (a) further highlights the variation of the ON/OFF ratio at selected bias voltages, confirming the strong dependence of device performance on the applied electric field. Moreover, the higher ON/OFF ratio observed under white-light illumination compared to UV irradiation is attributed to enhanced broadband absorption and increased photogeneration of charge carriers under white-light excitation.

As shown in Figure 8 (b), the R of the IGZO/n-Si photodetector increases with increasing reverse bias voltage for both white-light and UV illumination. This enhancement can be attributed to the improved separation and collection efficiency of photogenerated charge carriers under a stronger electric field, which reduces recombination losses and facilitates carrier transport across the heterojunction interface. At higher reverse bias, the device exhibits its maximum responsivity values of approximately 0.092 AW^{-1} under white-light illumination and 0.106 AW^{-1} under UV irradiation. The higher responsivity under reverse bias conditions confirms the efficient photoelectric conversion capability of the fabricated device and its strong dependence on the applied electric field.

Similarly, Figure 8 (c) illustrates the variation of D* as a function of applied bias voltage. In a trend consistent with the ON/OFF current ratio, D* increases with decreasing reverse bias voltage and reaches its maximum value at zero bias. The highest detectivity values are found to be approximately 6.73×10^{11} Jones under white-light illumination and 8.023×10^{11} Jones under UV irradiation. This improvement at low bias can be attributed to the reduction in dark current, which plays a dominant role in determining detectivity, while maintaining a relatively stable photocurrent due to efficient carrier separation at the IGZO/n-Si heterojunction. The higher D* observed under UV illumination further indicates enhanced sensitivity to shorter wavelengths, resulting in improved signal-to-noise performance.

In addition to the above performance parameters, Figure 8 (d) presents the variation of EQE under UV illumination as a function of applied bias voltage. A slight dependence on the applied reverse bias is observed, indicating a relatively stable photon-to-electron conversion efficiency over the investigated voltage range. The EQE reaches a value of approximately 25.12% at zero

bias, confirming efficient self-powered operation of the device. With increasing reverse bias, the EQE gradually improves and attains a maximum value of 33.33% at -2 V. This enhancement can be attributed to the improved collection efficiency of photogenerated carriers under a stronger electric field, which reduces recombination losses and facilitates more effective charge transport across the IGZO/n-Si heterojunction.

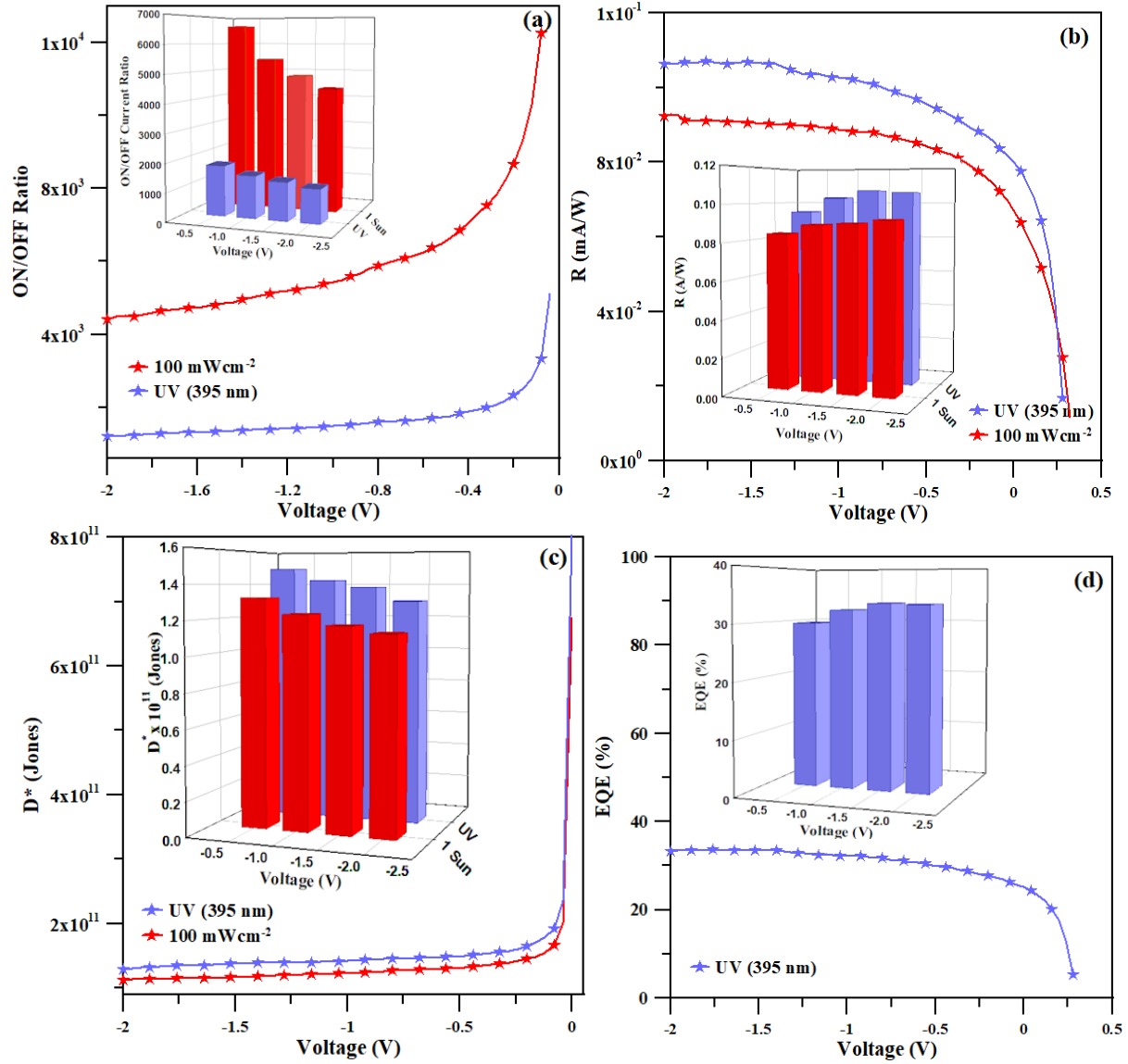


Figure 8. Bias-dependent (a) ON/OFF ratio, (b) R , (c) D^* , and (d) EQE of the IGZO/n-Si photodetector

4. CONCLUSION

In this study, solvothermally synthesized IGZO NPs were successfully employed as an interfacial layer in an Au/IGZO/n-Si/Al heterojunction photodetector, and their influence on the device performance under dark and illuminated conditions was systematically investigated. TEM, SEM-EDS, UV-Vis, and Raman analyses confirmed the successful formation of a homogeneous wide-bandgap IGZO NPs layer with the expected elemental composition and

metal–oxygen network, demonstrating the suitability of the solvothermal route for producing high-quality IGZO nanomaterials. The incorporation of the IGZO interlayer significantly improved the electrical performance of the heterojunction by enhancing the rectifying behavior, increasing the forward conduction current, and suppressing the reverse leakage current, indicating improved interface quality and carrier transport. Under both white-light and 395 nm UV illumination, the fabricated device exhibited a pronounced photoresponse together with a measurable zero-bias photocurrent, confirming its self-powered operation. In addition, the photodetector demonstrated high ON/OFF current ratios, competitive responsivity and detectivity values, and efficient photon-to-electron conversion, highlighting the beneficial role of the IGZO interfacial layer in promoting photocarrier generation and separation. To the best of our knowledge, this work constitutes the first demonstration of solvothermally synthesized IGZO NPs employed as an interfacial layer in an Au/IGZO/n-Si/Al heterojunction photodetector. The proposed interface-engineering strategy provides a simple, solution-processable, and cost-effective approach for the development of high-performance self-powered silicon-based UV photodetectors.

REFERENCES

- [1] Yu, J. et al. High-Performance Visible-Blind Ultraviolet Photodetector Based on IGZO TFT Coupled with p–n Heterojunction. *ACS Applied Materials & Interfaces* **10**, 8102–8109 (2018).
- [2] Wang, M. et al. Self-powered UV photodetectors and imaging arrays based on NiO/IGZO heterojunctions fabricated at room temperature. *Optics Express* **30**, 27453–27453 (2022).
- [3] Schellander, Y. et al. Ultraviolet photodetectors and readout based on a-IGZO semiconductor technology. *Journal of the Society for Information Display* **31**, 363–372 (2023).
- [4] Han, Y.-M., Seo, J., Lee, D. H. & Yoo, H. IGZO-Based Electronic Device Application: Advancements in Gas Sensor, Logic Circuit, Biosensor, Neuromorphic Device, and Photodetector Technologies. *Micromachines* **16**, 118–118 (2025).
- [5] Kim, J. Y., Kim, H., Kim, D. H. & Jang, H. W. Advancements of Amorphous IGZO-Based Transistors: Materials, Processing, and Devices. *ACS Applied Electronic Materials* **7**, 4703–4728 (2025).
- [6] Kashyap, A., Singh, N. K., Soni, M. & Soni, A. Deposition of thin films by chemical solution-assisted techniques. *Elsevier eBooks* 79–117 (2021) doi:10.1016/b978-0-12-819718-9.00014-5.
- [7] Lai, Y., Wang, I. & Hou, T. Giant Photoresponsivity and External Quantum Efficiency in a Contact-Engineered Broadband a-IGZO Phototransistor. *Advanced Functional Materials* **32**, (2022).
- [8] Woo, G. et al. Energy-Band Engineering by Remote Doping of Self-Assembled Monolayers Leads to High-Performance IGZO/p-Si Heterostructure Photodetectors. *Advanced Materials* **34**, (2021).
- [9] Kim, M. G. et al. A chemically treated IGZO-based highly visible-blind UV phototransistor with suppression of the persistent photoconductivity effect. *Journal of Materials Chemistry C* **11**, 15178–15196 (2023).
- [10] Boleiko, G. M. et al. Synthesis and characterization of InGaZn2O5 obtained by nitrate-tartrate complex decomposition method. *Nanosystems Physics Chemistry Mathematics* **16**, 44–50 (2025).

- [11] Zirnik, G. M. *et al.* Phase formation of nanosized InGaZnO₄ obtained by the sol-gel method with different chelating agents. *Nanosystems Physics Chemistry Mathematics* **15**, 520–529 (2024).
- [12] Yıldırım, S. Sol-Jel Yöntemiyle IGZO Partiküllerin Üretimi, Peletlenmesi ve Karakterizasyonu. *Journal of Polytechnic* **24**, 1317–1325 (2020).
- [13] Wu, M., Hsiao, K. & Lu, H. Synthesis of InGaZnO₄ nanoparticles using low temperature multistep co-precipitation method. *Materials Chemistry and Physics* **162**, 386–391 (2015).
- [14] Tezekbay, Y. *et al.* Indium Gallium Zinc Oxide Thin Films as Emerging Photoelectrode Materials for Efficient Solar Water Splitting. *ES Energy & Environments* (2025).
- [15] Huang, X. *et al.* Enhancing the Carrier Mobility and Bias Stability in Metal–Oxide Thin Film Transistors with Bilayer InSnO/a-InGaZnO Heterojunction Structure. *Micromachines* **15**, 512–512 (2024).
- [16] Kim, J., Nakamura, N., Kamiya, T. & Hosono, H. 69-4: NBIS-Stable Oxide Thin-Film Transistors Using Ultra-Wide Bandgap Amorphous Oxide Semiconductors. *SID Symposium Digest of Technical Papers* **47**, 951–953 (2016).
- [17] Park, S. Y. *et al.* 355 nm Nanosecond Ultraviolet Pulsed Laser Annealing Effects on Amorphous In-Ga-ZnO Thin Film Transistors. (2023)
- [18] Altinkök, A. and Olutaş, M. Annealing Temperature Effects on Surface Morphology and Optical Properties of IGZO Thin Films Produced by Thermal Evaporation. *JNSE* 2020.pp.25-44
- [19] Винник, Д. А. *et al.* Scalable Technique for Synthesizing an In–Ga–Zn–O Oxide Material Promising for Electronics. *Russian Metallurgy (Metally)* **2024**, 910–915 (2024)
- [20] Живулин, Д. Е. *et al.* Structure, Morphology, and Spectroscopy of Oxides in the In–Ga–Zn–O System. *Journal of Structural Chemistry* **66**, 2330–2338 (2025).
- [21] Yao, J. K., Ye, F. & Fan, P. Ultraviolet laser damage mechanisms of amorphous InGaZnO₄ thin films. *Optical Materials Express* **9**, 2545–2545 (2019).
- [22] Liu, B. *et al.* Ultrasonic Treatment-Induced Enhancement of Mechanical and Electrical Properties in InGaZnO Thin-Film Transistors. *IEEE Transactions on Electron Devices* **71**, 7516–7523 (2024).
- [23] Kasapoğlu, A. E., Orhan, Z. & Daş, E. Hydrothermally synthesized Sm₂O₃ nanoparticles for high-performance self-powered photodetectors. *Journal of Physics D Applied Physics* **58**, 475102–475102 (2025).
- [24] Erdoğan, M., Kasapoğlu, A. E. & Daş, E. A novel organic semiconductor with a diphenyldibenzofulvene-based A-π-A architecture: Synthesis and investigation of photodetection properties. *Optical Materials* **178**, 118234–118234 (2026).
- [25] Gupta, R. K., Ghosh, K. & Kahol, P. K. Fabrication and electrical characterization of Au/p-Si/STO/Au contact. *Current Applied Physics* **9**, 933–936 (2008).
- [26] Yildirim, G. & Daş, E. The synthesis of MgO and MgO-graphene nanocomposite materials and their diode and photodiode applications. *Physica Scripta* **98**, 85911–85911 (2023).
- [27] Jasim, H. K., Hadi, H. A. & Hashim, I. H. Influence of synthesis time on the performance of ZnO NPs/nSi heterojunction photodetectors prepared by non-thermal jet plasma. *Journal of Materials Science Materials in Electronics* **36**, (2025).
- [28] Barış, B. Analysis of device parameters for Au/tin oxide/n-Si(100) metal–oxide–semiconductor (MOS) diodes. *Physica B Condensed Matter* **438**, 65–69 (2014).
- [29] Eymur, S. and Tuğluoğlu, N. “Fabrication and Characterization of Au/MO/n-Si (MO:ZnO, In₂O₃, Al₂O₃) Schottky Diodes Grown by RF Magnetron Sputtering,” *New Materials, Compounds and Applications*, Vol.5, No:2, 2021, pp.122-131.

- [30] Yiğit, S., Gündoğdu, Y. & Kılıç, H. Ş. Electrical Properties of The Heterojunction Diode Produced Based on IGZO Thin Film. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering* (2021) doi:10.35414/akufemubid.867847.
- [31] Erkol, M., Yılmaz, M., Aydoğan, Ş. & Nuhzat, S. Optoelectronic properties and interface state analysis of self-powered p-NiO/n-ZnO:Al UV photodetectors. *Journal of Electroceramics* (2026)
- [32] Nuhzat, S., Erdoğan, E., Yılmaz, M., Aydoğan, Ş. & Erkol, M. Application of Cu₂O based nanostructure as photodetector in broad spectral region. *Applied Physics A* **131**, (2025).

OTOMOBİL HIZ KONTROL SİSTEMİ İÇİN FDB-SFS ALGORİTMASI VE BODE İDEAL REFERANS MODELİ TABANLI PID DENETLEYİCİ TASARIMI

FDB-SFS ALGORITHM AND BODE'S IDEAL REFERENCE MODEL BASED PID
CONTROLLER DESIGN FOR AUTOMOBILE CRUISE CONTROL SYSTEM

Öğr. Gör. Dr., Muhammet DEMİRBAŞ

Kastamonu Üniversitesi,

muhammetdemirbas@kastamonu.edu.tr - 0000-0002-5223-1279

Prof. Dr., M. Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi,

kenandosoglu@duzce.edu.tr - 0000-0001-8804-7070

Dr. Öğr. Üyesi., Enes KAYMAZ

Düzce Üniversitesi,

eneskaymaz@duzce.edu.tr - 0000-0002-4774-0773

ÖZET

Otomobil Hız Kontrol Sistemleri (ACCS), sürücü yorgunluğunu azaltmak ve seyir güvenliğini artırmak amacıyla taşıt hızını otonom olarak düzenleyen kritik donanımlardır. Ancak aracın doğrusal olmayan dinamiği ve yol eğimi, kütle değişimi gibi dış bozucular, sistemin istenen referans hızı kararlı bir şekilde takip etmesini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada, ACCS'nin gürbüz ve sarsıntısız bir şekilde kontrol edilebilmesi için Bode İdeal Transfer Fonksiyonunu referans alan yeni bir PID denetleyici tasarımı sunulmuştur. Denetleyicinin parametrelerini optimum şekilde belirlemek amacıyla, arama uzayında sömürü ve keşif dengesini etkin biçimde sağlayan Uygunluk-Mesafe Dengesi Tabanlı Stokastik Fraktal Arama (FDB-SFS) algoritması kullanılmıştır. Optimizasyon sürecinde Hatanın Karesinin İntegrali (ISE) amaç fonksiyonu minimize edilmiştir. Önerilen denetleyici yapısının performansı, zaman uzayında Adım Yanıtı ve s-düzleminde Kutup Sıfır analizleri ile test edilmiş; elde edilen bulgular literatürde yer alan ALO, AOA ve GA algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre FDB-SFS algoritması; %0,3869 ile en düşük aşım, 0,8048 saniye ile en hızlı yükselme zamanı ve 1,2608 saniye ile en kısa yerleşme zamanına ulaşarak üstün bir zaman uzayı performansı sergilemiştir. Kutup Sıfır analizi ise kompleks kutupların sanal eksenden en uzağa itildiğini göstererek bu hızlı yerleşme performansını doğrulamıştır. Sonuçlar, FDB-SFS algoritmasının ACCS için karşılaştırılan algoritmalar arasından en optimum, hızlı ve kararlı sistem dinamiğini sağladığını kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otomobil Hız Kontrol Sistemi, Bode İdeal Transfer Fonksiyonu, PID Denetleyici, FDB-SFS Algoritması

ABSTRACT

Automobile Cruise Control Systems (ACCS) are critical systems that autonomously regulate vehicle speed to reduce driver fatigue and enhance driving safety. However, the non-linear dynamics of the vehicle and external disturbances, such as road gradient and mass variation, make it difficult for the system to stably track the desired reference speed. In this study, a novel PID controller design based on Bode's Ideal Transfer Function is presented for the robust and smooth control of the ACCS. To optimally determine the controller parameters, the Fitness-Distance Balance Based Stochastic Fractal Search (FDB-SFS) algorithm, which effectively maintains the exploration-exploitation balance in the search space, was utilized. During the optimization process, the Integral Square Error (ISE) objective function was minimized. The performance of the proposed controller structure was evaluated using Step Response in the time domain and Pole-Zero analysis in the s-plane; the obtained findings were compared with the ALO, AOA, and GA algorithms available in the literature. According to the simulation results, the FDB-SFS algorithm exhibited superior time-domain performance, achieving the lowest overshoot of 0.3869%, the fastest rise time of 0.8048 seconds, and the shortest settling time of 1.2608 seconds. Furthermore, the Pole-Zero analysis verified this rapid settling performance by demonstrating that the complex poles were pushed the furthest from the imaginary axis. The results prove that the FDB-SFS algorithm provides the most optimal, rapid, and stable system dynamics for the ACCS among the compared algorithms.

Keywords: Automobile Cruise Control System, Bode's Ideal Transfer Function, PID Controller, FDB-SFS Algorithm

1. GİRİŞ

Günümüzde otomotiv endüstrisindeki hızlı teknolojik gelişmeler, sürüş konforunu ve trafik güvenliğini artırmaya yönelik akıllı otonom sistemlerin kullanımını zorunlu kılmıştır. Bu sistemlerin en önemlilerinden biri Otomobil Hız Kontrol Sistemidir (ACCS). ACCS, temel olarak sürücünün belirlediği referans hızı otomatik olarak koruyarak uzun yolculuklarda sürücü yorgunluğunu azaltmayı, potansiyel kaza risklerini en aza indirmeyi ve yakıt tüketimini düşürmeyi amaçlamaktadır. ACCS'nin temel işlevi, seyir halindeki aracın hızını izlemek ve belirlenen referans hızdan sapmaları önlemek için gaz kelebeği ve fren mekanizmalarına gerekli kontrol sinyallerini üretmektir. Ancak, bir aracın dinamiği oldukça karmaşık ve doğrusal olmayan yapıya sahiptir. Aracın ve yolcuların toplam kütlesi, aerodinamik sürtünme, rüzgâr hızı ve yolun eğimi gibi sürekli değişen bozucu etkiler, sistemin istenen hızı kararlı bir şekilde korumasını zorlaştırmaktadır. Bu doğrusal olmayan değişkenler altında sistemin hızlı tepki verebilmesi, aşım yapmaması ve güvenli çalışabilmesi için verimli denetleyici tasarımlarına ihtiyaç duyulmaktadır [1,2].

Literatürde ACCS kontrolü için Durum Uzayı [3], Bulanık Mantık [3] ve Genetik Algoritma (GA) [4] gibi çeşitli yöntemler önerilmiştir. Basit yapısı ve uygulanabilirliği ile öne çıkan PID denetleyicilerin oransal (K_p), integral (K_i) ve türevsel (K_d) kazanç parametrelerinin problem için optimum şekilde ayarlanması gerekmektedir. Son yıllarda, bu parametre optimizasyonu problemini çözmek amacıyla meta-sezgisel algoritmalar başarıyla kullanılmaktadır. Örneğin literatürde; Karınca Aslanı Optimizasyonu (ALO) [1] ve Aritmetik Optimizasyon Algoritması (AOA) [2] gibi modern tekniklerin ACCS üzerinde üstün performans gösterdiği kanıtlanmıştır. Standart meta-sezgisel algoritmaların en büyük dezavantajlarından biri, arama uzayında

sömürü ve keşif dengesini kuramamaları ve yerel minimumlara takılarak erken yakınsama problemi yaşamalarıdır. Son yıllarda bu sorunun üstesinden gelmek ve arama sürecini daha verimli yönlendirmek amacıyla Uygunluk-Mesafe Dengesi (FDB) yöntemi geliştirilmiştir [5]. FDB yöntemi, popülasyon içindeki aday çözümleri seçerken sadece onların uygunluk değerlerini değil, aynı zamanda en iyi çözüme olan uzaklıklarını da hesaba katarak arama uzayında güçlü bir çeşitlilik sağlar [5]. Literatürde FDB yöntemi kullanılarak modifiye edilmiş FDB-AGDE [6], FDB-TLABC [7], FDB-LSHADE [8], FDB-SDO [9] ve FDB-SFS [10] gibi algoritmalar mühendislik problemlerine başarıyla uygulanmış ve standart versiyonlarına göre üstünlükleri kanıtlanmıştır.

Diğer yandan, denetleyici tasarımında sadece hatayı minimize etmek yeterli değildir; sistemin parametre değişimlerine karşı gürbüzlüğünü de sağlamak gerekir. Bu bağlamda, kontrol sisteminin referans modeli olarak Bode'nin İdeal Transfer Fonksiyonu'nun kullanılması, frekans yanıtında sabit bir faz marjini sağlayarak sistemin dış bozuculara karşı gürbüz özelliğini korumasını garanti altına almaktadır [1,2].

Bu çalışmada, doğrusal olmayan bir otomobil hız kontrol sisteminin (ACCS) gürbüz denetimi için Bode'nin ideal transfer fonksiyonu temel alınarak yeni bir kapalı çevrim denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Denetleyici parametrelerini Bode ideal modeline en yakın cevabı verecek şekilde optimize etmek amacıyla güçlü bir keşif-sömürü dengesine sahip olan FDB tabanlı Stokastik Fraktal Arama (FDB-SFS) algoritması [10] kullanılmıştır. Önerilen FDB-SFS tabanlı kontrol yaklaşımının performansı, zaman ve frekans uzayında incelenmiş ve literatürdeki diğer popüler algoritmalarla karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı aşağıdaki gibi özetlenebilir.

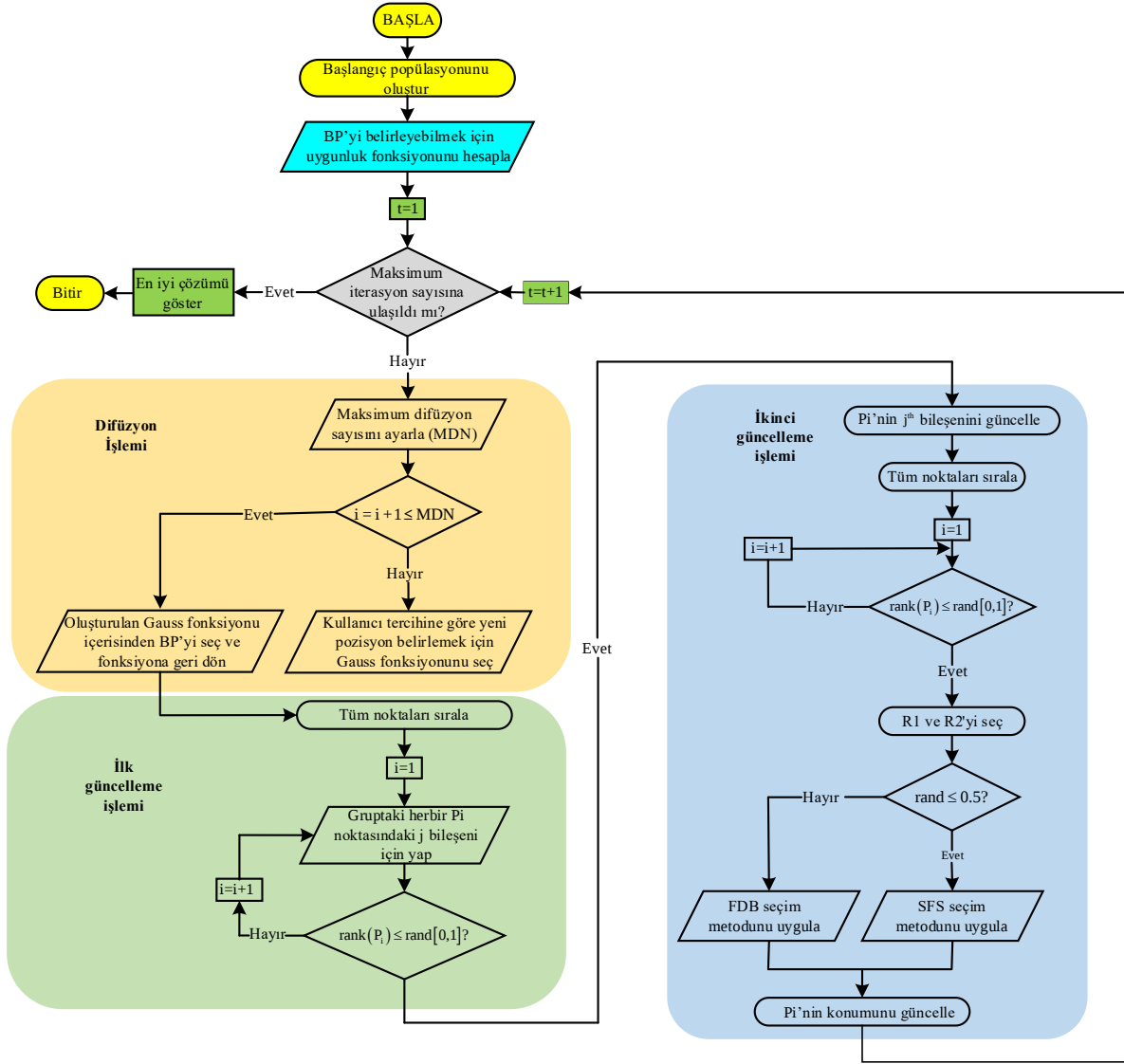
- ACCS için PID denetleyici parametreleri Uygunluk Mesafe Dengesi Tabanlı FDB-SFS algoritması ile optimize edilmiştir.
- Literatürde meta-sezgisel optimizasyon algoritmalarının keşif ve sömürü yeteneğini geliştirmek için yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Geliştirilen bu teorik yaklaşımların pratik mühendislik problemlerinde test edilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, ACCS kontrolü için Bode İdeal Transfer Fonksiyonunu referans alan PID denetleyici tasarımı, FDB-SFS algoritması ile literatürde ilk kez gerçekleştirilmiştir.
- Algoritmanın problemi çözme konusundaki performansı, zaman uzayında adım yanıtı ve s-düzleminde kutup-sıfır analizi yöntemleri ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde daha önce yapılmış olan güncel çalışmalarla karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Çalışmanın devamında yer alan bölümler şu şekilde özetlenebilir; Bölüm 2, FDB-SFS algoritmasının matematiksel tanımını, otomobil hız kontrol sisteminin matematiksel modelini, Bode ideal referans modelini ve PID denetleyici yapısını içermektedir. Bölüm 3, yapılan çalışmadan elde edilen adım yanıtı ile kutup-sıfır analizi sonuçlarını ve bu sonuçların literatürle karşılaştırmalı yorumlanmasını içermektedir. Bölüm 4 ise, yapılan çalışma ile elde edilen genel sonuçları içermektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1.UYGUNLUK MESAFE DENGESİ TABANLI STOKASTİK FRAKTAL ARAMA ALGORİTMASI

FDB-SFS algoritması, doğadaki fraktal büyüme ve difüzyon süreçlerinden esinlenerek geliştirilen orijinal SFS [11] algoritmasının arama performansını artırmak amacıyla tasarlanmış güçlü bir meta-sezgisel optimizasyon yöntemidir [10]. Temel SFS algoritması, “difüzyon” ve “güncelleme” olmak üzere iki ana aşamadan oluşur. Standart SFS, erken yakınsama problemi yaşamakta ve keşif-sömürü dengesini kuramamaktadır. Bu zafiyeti gidermek için algoritmaya entegre edilen FDB yöntemi, algoritmanın ikinci güncelleme aşamasını düzenlemektedir. FDB yöntemi, arama sürecini yönlendirecek aday çözümleri seçerken sadece uygunluk değerine odaklanmaz veya rastgele bir seçim yapmaz. Bunun yerine, popülasyondaki her bir adayın hem uygunluk değerini hem de o anki en iyi çözüme olan Öklid uzaklığını eşzamanlı olarak değerlendirerek adaylara dinamik bir skor atar. Bu akıllı seçim mekanizması, arama sürecine yön verecek bireylerin hem yüksek kaliteli olmasını hem de popülasyondaki en iyi çözümden yeterince uzakta kalarak popülasyon çeşitliliğini korumasını garanti altına almaktadır. Böylece yerel minimumlara takılma riski büyük ölçüde ortadan kaldırılarak, algoritmanın küresel optimuma ulaşma başarısı maksimize edilmiş olmaktadır. FDB-SFS algoritmasının çalışma adımlarını özetleyen akış diyagramı Görsel 1'de sunulmuştur [10].



Görsel 1. FDB-SFS Algoritmasının Akış Diyagramı [10].

2.2. OTOMOBİL HIZ KONTROL SİSTEMİ (ACCS)

ACCS, seyir halindeki bir aracın hızını sürücü tarafından belirlenen referans değerde otonom olarak korumayı sağlayan bir geri besleme sistemidir. ACCS tasarımında denetleyicinin doğru çalışabilmesi için aracın dinamiğinin matematiksel olarak modellenmesi gerekmektedir. Seyir halindeki bir otomobile etki eden kuvvetler Newton'un ikinci hareket yasasına göre ifade edildiğinde, sistemin doğrusal olmayan hareket denklemi Denklem (1)'deki gibi elde edilir [1,2].

$$F_d = M \frac{dv}{dt} + F_a + F_g \quad (1)$$

Burada M , araç ve yolcuların toplam kütesini; v , aracın anlık hızını; F_d , motor tarafından üretilen tahrik kuvvetini; F_a , aerodinamik sürtünme kuvvetini; F_g , yol eğiminden kaynaklanan yerçekimi direncini temsil etmektedir.

Aracın hızının karesiyle orantılı olan aerodinamik sürtünme Denklem (2) ile eğim direnci ise Denklem (3) ile hesaplanmaktadır [1,2].

$$F_a = C_a (v + v_w)^2 \quad (2)$$

$$F_g = Mg \sin(\theta) \quad (3)$$

Burada; C_a , aerodinamik sürtünme katsayısı; v_w , rüzgâr hızı; θ , yolun eğim açısı; g , yer çekimi ivmesidir. Hız kontrol sistemindeki gaz kelebeği ve motorun tepki süresi, zaman gecikmeli birinci dereceden bir sistem olarak Denklem (4)'te verilmiştir [1,2].

$$\dot{F}_d = \frac{1}{T} (C_1 u(t - \tau) - F_d) \quad (4)$$

Bu denklemde u , denetleyici tarafından üretilen kontrol girişini; C_1 , gaz kelebeği sabitini; T , sistemin zaman sabitini ve τ , sürücü reaksiyon gecikmesini ifade etmektedir.

Aerodinamik sürtünme denklemindeki hızın karesi terimi sistemi doğrusal olmayan bir yapıya sokmaktadır. Denetleyici tasarımını ve optimizasyon sürecini gerçekleştirebilmek için sistemin doğrusallaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla rüzgâr hızının ve yol eğiminin sıfır kabul edildiği ($v_w = 0$, $\theta = 0$), $v_0 = 30$ km/h nominal çalışma noktası etrafında Taylor serisi açılımı uygulanarak gerçekleştirilen doğrusallaştırma işleminin ardından hız değişimi ($\Delta V(s)$) ile kontrol girişi ($\Delta U(s)$) arasındaki açık çevrim transfer fonksiyonu Denklem (5)'teki gibi elde edilmiştir [1,2]. Nihai transfer fonksiyonunun elde edilebilmesi için kullanılacak olan araç dinamiği parametreleri Çizelge 1'de sunulmuştur [1,2].

$$G(s) = \frac{\Delta V(s)}{\Delta U(s)} = \frac{\frac{C_1 e^{-\tau s}}{MT}}{\left(s + \frac{2C_a v}{M}\right) \left(s + \frac{1}{T}\right)} \quad (5)$$

Çizelge 1. Otomobil Hız Kontrol Sistemi Parametreleri [1,2].

Parametre	Açıklama	Değer	Birim
C_1	Gaz kelebeği sabiti	743	-
C_a	Aerodinamik sürtünme katsayısı	1,19	N/(m/s) ²
M	Araç ve yolcu toplam kütlesi	1500	Kg
τ	Reaksiyon gecikmesi	0,2	sn
T	Zaman sabiti	1	sn

$F_{d\max}$	Maksimum doyuma ulaşma sınırı	3500	N
$F_{d\min}$	Minimum doyuma ulaşma sınırı	-3500	N
g	Yer çekimi ivmesi	9,8	m/sn ²

Literatürden alınan ve Çizelge 1'de sunulan otomobil dinamiği parametreleri Denklem 5'e yerleştirildiğinde, optimizasyon algoritması için kullanılacak nihai araç transfer fonksiyonu Denklem 6'daki gibi elde edilmektedir [1,2].

$$G(s) = \frac{2,4767}{(s+0,0476)(s+1)(s+5)} \quad (6)$$

2.3.BODE İDEAL TRANSFER FONKSİYONU VE ACCS İÇİN PID DENETLEYİCİ TASARIMI

Otomobil hız kontrol sistemlerinde amaç, aracın referans hıza en kısa sürede, salınım yapmadan ulaşması ve yol eğimi veya araç yükü gibi dış bozucular karşısında kararlılığını korumasıdır. Bu çalışmada, sistemin gürbüzlüğüne garanti altına almak amacıyla Model Referans Kontrol stratejisi benimsenmiş ve referans model olarak Bode İdeal Transfer Fonksiyonu kullanılmıştır.

1940'larda H.W. Bode tarafından geri beslemeli amplifikatör tasarımı için önerilen Bode İdeal Transfer Fonksiyonu, açık çevrim transfer fonksiyonunun belirli bir ideal formda olması durumunda sistemin kazanç değişimlerine karşı tamamen bağımsız olacağını matematiksel olarak kanıtlamıştır. Bode'nin ideal açık çevrim transfer fonksiyonu Denklem (7)'de verilmiştir [2].

$$L(s) = \left(\frac{w_c}{s} \right)^\alpha, \quad \alpha \in R \quad (7)$$

Burada; w_c , kazanç kesim frekansını; α ise sistemin faz marjini ve genlik eğrisinin eğimini belirleyen gerçek bir sayıyı ifade etmektedir.

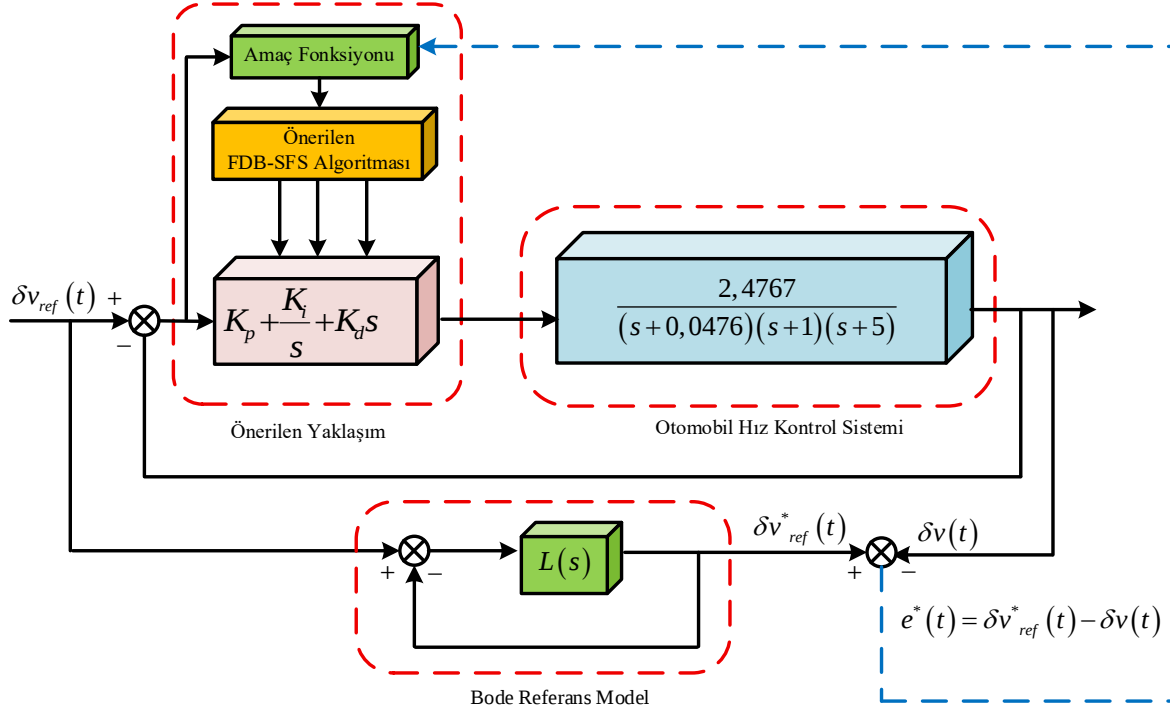
Hız kontrol sisteminin hızlı bir şekilde hedef hıza ulaşması ancak aşım yapmaması için literatürde sıklıkla tercih edildiği üzere, $w_c = 3$ rad/sn ve $\alpha = 1$ olarak seçilmiştir. Açık çevrim fonksiyonunun birim geri besleme ile kapalı çevrime alınmasıyla hedeflenen ideal referans kapalı çevrim modeli Denklem (8)'de verildiği gibi elde edilmiştir [2].

$$T(s) = \frac{3}{s+3} \quad (8)$$

Denetim sürecini gerçekleştirmek için kullanılan PID denetleyicisinin transfer fonksiyonu Denklem (9)'da verilmiştir [2].

$$G_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (9)$$

Burada; K_p , oransal; K_i integral ve K_d türevsel kazançları temsil etmektedir. FDB-SFS/PID kontrol sistemini içeren ACCS'nin blok diyagramı Görsel 2'de verilmiştir.



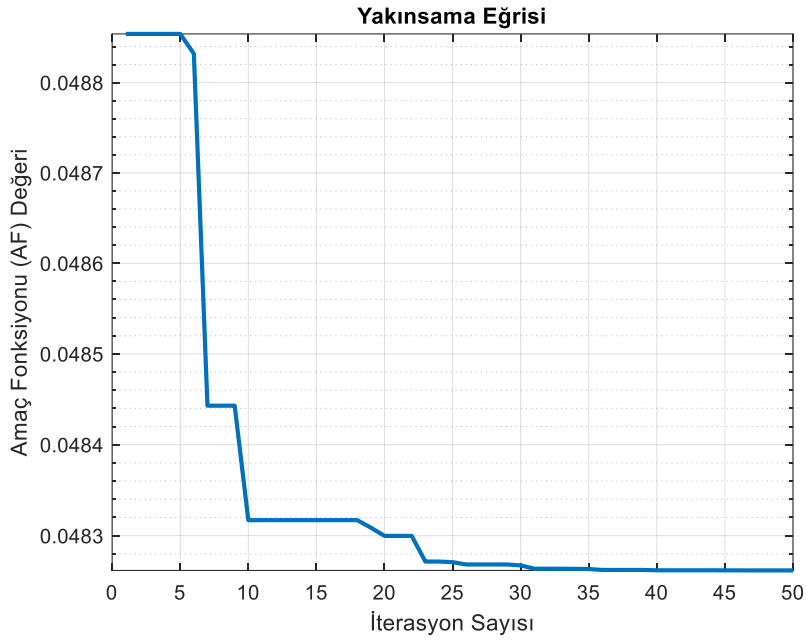
Görsel 2. ACCS'nin blok diyagramı.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışmada ACCS için Bode İdeal Transfer Fonksiyonu tabanlı PID denetleyici tasarımı, Intel Core i7-11370H, 3.30GHz CPU ve 64 GB RAM'e sahip bilgisayar kullanılarak Matlab 2022a ortamında gerçekleştirilmiştir. FDB-SFS algoritmasının popülasyon boyutu 30 ve maksimum iterasyon sayısı 50 olarak ayarlanmıştır. PID denetleyicisinin K_p , K_i ve K_d parametreleri ayarlanırken literatürdeki benzer çalışmalar referans alınarak arama uzayı sınırları sırasıyla [3, 4], [0,1, 0,25] ve [3, 4] olarak belirlenmiştir [1,2]. Optimizasyon sürecinde gerçek sistemin yanıtını Bode ideal referans modeline yakınlaştırmak amacıyla Hatanın Karesinin İntegrali (ISE) amaç fonksiyonunun minimizasyonu hedeflenmiştir. ISE amaç fonksiyonu Denklem (10)'da sunulmuştur [2].

$$ISE = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt \quad (10)$$

FDB-SFS algoritmasının kararlılığını ve gürbüzlüğüne görebilmek için belirlenen sınırlarda PID parametreleri 30 bağımsız döngü boyunca aranmıştır. En düşük amaç fonksiyonu değeri 16. Döngüde 0,0483 olarak bulunmuştur. FDB-SFS algoritması ile elde edilen yakınsama eğrisi Görsel 3'te sunulmuştur.



Görsel 3. FDB-SFS Algoritması ile En İyi Döngüde Elde Edilen Yakınsama Eğrisi.

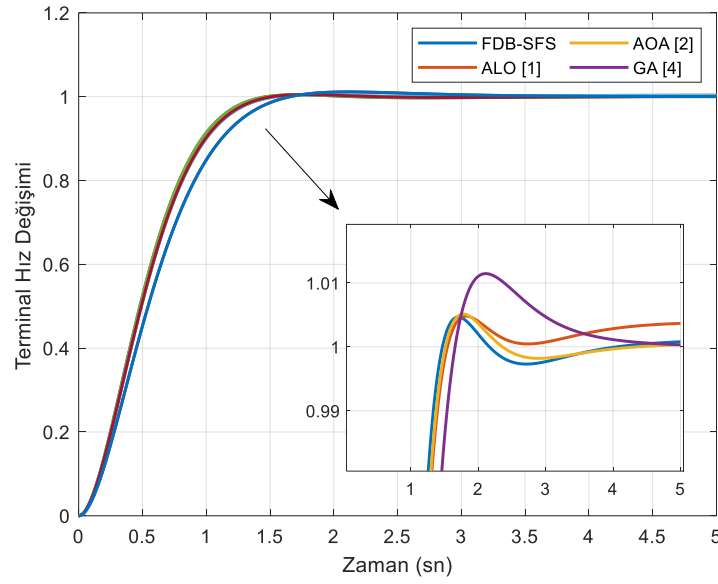
Algoritmanın belirlediği denetleyici parametreleri ile ACCS'nin performansını değerlendirebilmek amacıyla Adım Yanıtı ve Kutup-Sıfır Analizi yapılmıştır. Önerilen sistemin performansı ALO [1], AOA [2] ve GA [4] algoritmalarının performanslarıyla karşılaştırılmıştır. FDB-SFS, AOA ve GA algoritmalarının elde etmiş olduğu PID parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Denetleyici parametreleri.

Algoritmalar	K_p	K_i	K_d
FDB-SFS	3,9800	0,1918	3,9999
ALO [1]	3,8580	0,2089	3,8581
AOA [2]	3,9043	0,1829	3,8645
GA [4]	3,5907	0,1630	3,3021

3.1.Adım Yanıtı

FDB-SFS, ALO [1], AOA [2] ve GA [4] algoritmaları ile ayarlanan PID denetleyiciler ve referans Bode modeli kullanılarak tasarlanan ACCS sisteminin hız değişimine karşı verdiği adım yanıtı sonuçları Görsel 4'te, sonuçlara ait sayısal veriler ise Çizelge 3'te sunulmuştur.



Görsel 4. ACCS'nin Adım Yanıtı.

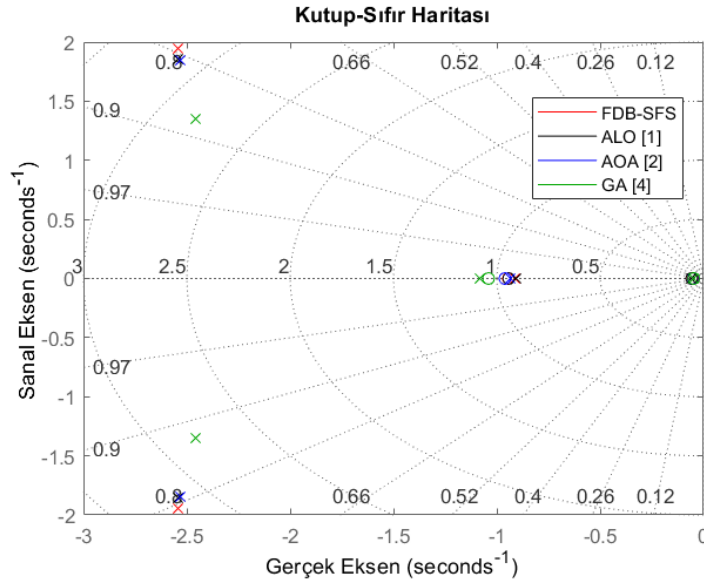
Çizelge 3. ACCS'nin adım yanıtı sayısal verileri.

Algoritmalar	Yüzde En Büyük Aşım (%)	Yükselme Zamanı (sn)	Yerleşme Zamanı (sn)	Tepe Zamanı (s)
FDB-SFS	0,3869	0,8048	1,2608	1,7040
ALO [1]	0,5131	0,8277	1,2950	1,7828
AOA [2]	0,6120	0,8094	1,7320	1,2600
GA [4]	1,1400	0,9450	1,4600	2,1500

Sistemlerin adım yanıtları incelendiğinde, FDB-SFS algoritmasının PID denetleyicisi ile birlikte hedef Bode referans modelinin yörüngesini en yüksek doğrulukla takip ettiği görülmektedir. Önerilen FDB-SFS tasarımı; %0,3869 ile en düşük yüzde aşım değerine, 0,8048 sn ile en hızlı yükselme zamanına ve 1,2608 sn ile en kısa yerleşme zamanına ulaşarak literatürdeki rakiplerini açıkça geride bırakmıştır. Özellikle sürüş konforunu doğrudan etkileyen aşım miktarında, en yakın rakipleri olan ALO [1] ve AOA'ya [2] göre belirgin bir iyileşme sağlanmıştır. Bu durum, FDB yönteminin arama uzayındaki sömürü ve keşif yeteneklerini başarılı bir şekilde dengeleyerek küresel optimum noktaya ulaştığını kanıtlamaktadır.

3.2.Kutup-Sıfır Analizi

Sistemin kararlılığını ve geçici durum performansını s-düzleminde analiz etmenin en etkili yollarından biri kapalı çevrim kutup-sıfır yerleşimlerini incelemektir. Meta-sezgisel algoritmalar ile optimize edilen ACCS sistemlerine ait Kutup-Sıfır haritası Görsel 5'te, bu haritadan elde edilen kapalı çevrim kutup değerleri ise Çizelge 4'te sunulmuştur.



Görsel 5. ACCS'nin Kutup Sıfır haritası.

Çizelge 4. Kutup-Sıfır Analizi sonuçları.

FDB-SFS	ALO [1]
-2.5431 ± 1.9465i	-2.5422 ± 1.8517i
-0.9105	-0.9054
-0.0509	-0.0578
AOA [2]	GA [4]
-2.5315 ± 1.8486i	-2.4586 ± 1.3451i
-0.9353	-1.0830
-0.0493	-0.0475

Çizelge 4 incelendiğinde, tüm algoritmalar tarafından elde edilen kapalı çevrim kutuplarının gerçel kısımlarının negatif olduğu yani s-düzleminin sol yarısında yer aldığı görülmektedir. Bu durum, tasarlanan tüm denetleyicilerin asimptotik olarak kararlı bir sistem sunduğunu matematiksel olarak kanıtlamaktadır. Ancak, sistemlerin hızını ve sönümleme karakteristiğini belirleyen asıl unsur, kompleks eşlenik kutupların s-düzlemindeki konumudur. Kontrol teorisine göre, kompleks kutupların gerçel ekseninde sola doğru kayması, sistemin geçici hal yanıtının daha hızlı sönümlenmesini ve sistemin hedefe daha çabuk ulaşmasını sağlar. Çizelge 4'teki değerler incelendiğinde, FDB-SFS algoritmasının kompleks kutuplarının gerçel kısmının, rakipleri olan ALO [1], AOA [2] ve GA [4] algoritmalarına kıyasla s-düzleminde en sola yerleştiği açıkça görülmektedir. Kompleks köklerin sanal eksenden bu şekilde daha uzağa itilmesi, sistemin tepki hızını artırmaktadır. Bu veri, Çizelge 3'te sunulan adım yanıtı sonuçlarını desteklemektedir. Kompleks kutupları s-düzleminde en sola yerleştirmeyi başaran FDB-SFS

algoritmasının, adım yanıtı analizinde de 1.2608 saniye ile rakipleri arasındaki en kısa yerleşme zamanına sahip olması, FDB yönteminin arama uzayını en iyi şekilde tarayarak en optimum denetleyici parametrelerini bulduğunu kanıtlamaktadır. Sonuç olarak kutup-sıfır analizi; önerilen yöntemin sadece hatayı minimize etmekle kalmayıp, sistemin dinamik yapısını da hız ve sönümlendirme açısından en kararlı konuma getirdiğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Otomobil Hız Kontrol Sisteminin (ACCS) kararlı bir şekilde denetlenebilmesi amacıyla Bode İdeal Transfer Fonksiyonunu referans alan bir PID denetleyici tasarımı gerçekleştirilmiştir. Denetleyicinin parametrelerinin optimum değerlerini bulmak için arama uzayında sömürü ve keşif dengesini etkin bir şekilde kuran Uygunluk-Mesafe Dengesi Tabanlı Stokastik Fraktal Arama (FDB-SFS) algoritması kullanılmıştır. Geliştirilen kontrol sisteminin performansı Adım Yanıtı ve Kutup-Sıfır analizleri ile değerlendirilmiş ve literatürde bu sistem için önerilen ALO [1], AOA [2] ve GA [4] algoritmaları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Adım yanıtı analizlerinde FDB-SFS algoritması, sistemin hedef hıza ulaşma performansını önemli ölçüde artırmıştır. Önerilen algoritma; %0,3869 ile en düşük yüzde aşım, 0,8048 saniye ile en hızlı yükselme zamanı ve 1,2608 saniye ile en kısa yerleşme zamanı değerlerine ulaşarak literatürdeki rakiplerini geride bırakmıştır.
- Tasarlanan sistemin kutup-sıfır analizi ile s-düzlemindeki kök yerleşimleri incelendiğinde, elde edilen tüm kapalı çevrim kutuplarının sol yarı düzlemde yer aldığı ve sistemin asimptotik olarak kararlı olduğu görülmüştür. Daha da önemlisi, sistemin hızını belirleyen kompleks eşlenik kutupların gerçel kısmı incelendiğinde; FDB-SFS algoritmasının kompleks kutuplarının sanal eksenden en sola ittiği tespit edilmiştir. Bu durum FDB-SFS algoritması ile tasarlanan sistemin geçici hal yanıtının daha hızlı sönümlendiğini ve sistemin hedefe daha çabuk ulaştığını göstermektedir.

Sonuç olarak, meta-sezgisel algoritmalara entegre edilen FDB seçim yönteminin karmaşık kontrol problemlerinde arama uzayını çok daha efektif tarayarak yüksek kaliteli sonuçlar ürettiği görülmüştür. Önerilen FDB-SFS tabanlı Bode ideal referans model kontrol yapısının, otomotiv endüstrisindeki hız kontrol sistemlerinin güvenli, sarsıntısız ve hızlı bir şekilde çalışmasına önemli bir teorik ve pratik katkı sunduğu düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda, önerilen bu yapının kesir dereceli PID denetleyicilere uygulanarak performans artışının incelenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Pradhan, R., Majhi, S. K., Pradhan, J. K., and Pati, B. B. (2018). Antlion optimizer tuned PID controller based on Bode ideal transfer function for automobile cruise control system. *Journal of Industrial Information Integration*, 9, 45-52. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.01.002> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [2] Izci, D., Ekinci, S., Kayri, M., and Eker, E. (2022). A novel improved arithmetic optimization algorithm for optimal design of PID controlled and Bode's ideal transfer

- function based automobile cruise control system. *Evolving Systems*, 13, 453-468. <https://doi.org/10.1007/s12530-021-09402-4> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [3] Osman, K., Rahmat, M. F., and Ahmad, M. A. *Modelling and controller design for a cruise control system*. 2009 5th international colloquium on signal processing & its applications, 254-258, Malaysia, 2009.
- [4] Rout, M. K., Sain, D., Swain, S. K., and Mishra, S. K. *PID controller design for cruise control system using genetic algorithm*. 2016 international conference on electrical, electronics, and optimization techniques (ICEEOT), 4170-4174, India, 2016.
- [5] Kahraman, H.T., Aras, S., Gedikli, E. (2020). Fitness-distance balance (FDB): A new selection method for meta-heuristic search algorithms, *Knowl.-Based Syst.*, 190, 105169. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.105169> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [6] Guvenc, U., Duman, S., Kahraman, H.T., Aras, S., and Kati, M. (2021). Fitness–Distance Balance based adaptive guided differential evolution algorithm for security-constrained optimal power flow problem incorporating renewable energy sources, *Applied Soft Computing*, 108, 107421. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107421> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [7] Duman, S., Kahraman, H.T., Sonmez, Y., Guvenc, U., Kati, M., and Aras, S. (2022). A powerful meta-heuristic search algorithm for solving global optimization and real-world solar photovoltaic parameter estimation problems, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 111, 104763. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.104763> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [8] Ozkaya, B., Guvenc U., Bingol, O. (2022). Fitness Distance Balance based LSHADE algorithm for energy hub economic dispatch problem *IEEE Access*, 10, 66770-66796. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3185068> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [9] Kati, M., Kahraman, H.T. (2020). Arz-talep tabanlı optimizasyon algoritmasının fdb yöntemi ile iyileştirilmesi: mühendislik tasarım problemleri üzerine kapsamlı bir araştırma, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(5), 156-172. <https://doi.org/10.21923/jesd.829508> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [10] Aras, S., Gedikli, E., and Kahraman, H.T. (2021). A novel stochastic fractal search algorithm with fitness-distance balance for global numerical optimization, *Swarm and Evolutionary Computation*, 61, 100821. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100821> (Erişim tarihi: 25.07.2026)
- [11] Salimi, H. (2015). Stochastic fractal search: a powerful metaheuristic algorithm. *Knowledge-based systems*, 75, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2014.07.025> (Erişim tarihi: 25.07.2026)

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİNİN GÜÇ AKIŞI VE KAYIPLAR ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi, ENES KAYMAZ

Düzce Üniversitesi,

eneskaymaz@duzce.edu.tr - 0000-0002-4774-0773

Prof. Dr., M. Kenan DÖŞOĞLU

Düzce Üniversitesi,

kenandosoglu@duzce.edu.tr - 0000-0001-8804-7070

Öğr. Gör. Dr., Muhammet DEMİRBAŞ

Kastamonu Üniversitesi,

muhammetdemirbas@kastamonu.edu.tr-0000-0002-5223-1279

ÖZET

Elektrik güç sistemlerinde, küresel enerji talebini güvenilir bir şekilde karşılamak ve şebeke esnekliğini sağlamak amacıyla modern iletim teknolojilerine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Geleneksel güç sistemlerinin üretim sınırlarını zorlayan bu dönüşüm sürecinde Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC) sistemleri ön plana çıkmaktadır. Bu yenilikçi teknolojinin, şebekenin temel dinamikleri olan güç akışı ve sistem kayıpları üzerindeki etkilerinin önceden tespit edilmesi, güç sistemlerinin doğru planlanması ve sürdürülebilir bir enerji arzı için kritik öneme sahiptir. Bu amaçla, bu çalışmada 9 baralı bir güç sistemi için güç akışı analizi gerçekleştirilmiş ve HVDC sisteminin güç akışı ile sistem kayıpları üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen benzetim çalışmasında, Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılarak iki farklı senaryo test edilmiştir. İlk senaryoda sistemde HVDC'nin yer almadığı durum incelenmiş, ikinci senaryoda ise sistemde 7 ile 8 numaralı iletim hatları arasına HVDC entegre edilerek karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aktif güç ve reaktif güç kayıpları açısından karşılaştırılmış ve gerilim, açı, aktif güç ve reaktif güç profilleri bakımından incelenmiştir. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, incelenen 9 baralı güç sisteminde HVDC kullanımının, aktif ve reaktif güç kayıplarında artışa sebep olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güç Akışı, Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC), Bara Gerilim Profilleri, Aktif ve Reaktif Güç Kayıpları, PSAT.

1. GİRİŞ

Son yıllarda, elektrik güç sistemleri güvenilir ve sürdürülebilir enerjiye yönelik artan talebi karşılayabilmek amacıyla önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir [1]. Artan enerji talebinin geleneksel güç sistemlerinin üretim sınırlarını zorladığı bu süreçte, Yüksek Gerilim

Doğru Akım (HVDC) sistemleri uzun mesafeli güç transferi için önemli avantajlar sunarak yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunu kolaylaştırmakta ve şebeke kararlılığını arttırmaktadır [2,3]. Dünya daha sürdürülebilir ve birbirine bağlı bir enerji geleceği için çabalarırken, HVDC teknolojisi yarının güç şebekelerinin şekillenmesinde son derece önemli bir role sahiptir [4].

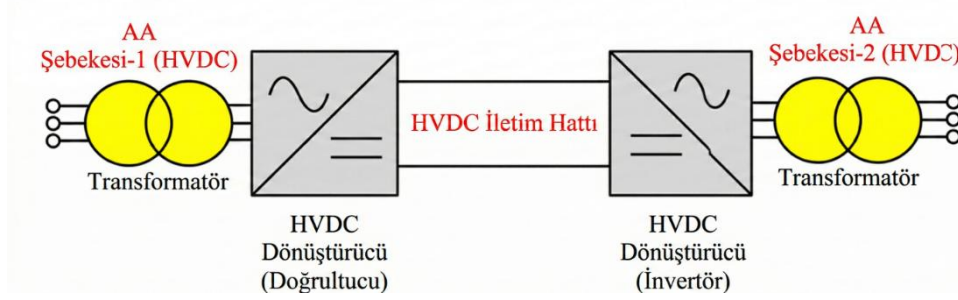
Bu doğrultuda, araştırmacılar tarafından HVDC sistemlerinin güç sistemlerine entegrasyonu, modellenmesi ve şebeke performansı üzerindeki etkilerini inceleyen çeşitli çalışmalar sunulmuştur. Örneğin, [5]'te geleceğin deniz üstü (offshore) ve süper şebekeleri için HVDC teknolojisinin önemi ve gerekliliği vurgulanmıştır. [6]'da HVDC iletim sistemlerinin modellenmesi ve benzetimi üzerine kapsamlı analizler sunulmuş ve [7]'de ise bölgeler arası kurulan HVDC bağlantılarının sistemin dinamik performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. [8]'de yazarlar, güç sistemlerinin genişleme planlamasında HVDC istasyonlarının reaktif güç kontrolündeki etkinliğinin şebekenin ekonomik ve teknik performansı üzerindeki etkisini incelemiştir. Benzer şekilde [9]'da sunulan çalışmada, rüzgar ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını içeren büyük ölçekli tesislerin kapasite planlamasında ultra HVDC iletim hatlarının kullanılmasının enerjinin uzak mesafelere aktarılmasında yüksek iletim kararlılığı sağladığı görülmüştür.

Literatür çalışmalarında bahsedilen bu avantajların yanı sıra, HVDC güç akışı üzerinde daha fazla kontrol sağlayarak şebeke kararlılığını artırır ve çeşitli enerji sistemlerinin sorunsuz bir şekilde birbirine bağlanmasını sağlar [1]. HVDC şebekelerinde güç akışı kontrolü, birden fazla terminal üzerinden elektrik gücünün iletimini yönetmek ve optimize etmek için değerli bir araçtır. Belirli hatlar üzerinden iletilen güce ayarlamalar yapılmasını sağlar, tıkanıklık yönetimini kolaylaştırır [10]. Bununla birlikte, HVDC teknolojisinin mevcut Alternatif Akım (AA) şebekelerine doğrudan entegrasyonu, sistemin temel dinamikleri üzerinde beklenen olumlu etkiyi sunamayabilir. Örneğin, [11]'de gerçekleştirilen statik gerilim kararlılığı çalışmasında, HVDC kullanımının sistemin maksimum yüklenme parametresinde azalmaya sebep olabildiği görülmüştür. Bu nedenle, kesintisiz bir enerji iletimi ve oluşabilecek sistemsel problemlerin şebekeye entegrasyon öncesinde tespit edilebilmesi için çeşitli analizlerin ve planlamaların yapılması önemlidir. Güç akışı analizi bu planlamaların temelinde yer alan önemli bir mühendislik aracı olarak ön plana çıkmaktadır [12]. Bu analiz sayesinde, kararlı durum koşulları göz önünde bulundurularak sistemde yer alan baralara ait gerilimler, faz açıları, üretilen ve tüketilen güç miktarları ile sistem kayıpları gibi veriler hesaplanmaktadır [13]. Newton-Raphson [14], Gauss-Seidel [15] ve Fast Decoupled [16] gibi matematiksel yöntemler güç akışı analizinde sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Bu yöntemler arasında Newton-Raphson yöntemi ikinci dereceden yakınsama ve gelişmiş sağlamlık özellikleri sayesinde güç akışı analizinde farklı test sistemleri için daha fazla tercih edilmektedir [17-19].

Gerçekleştirilen bu çalışmada, 9 baralı bir güç sistemi modeli için HVDC sisteminin güç akışı ve sistem kayıpları ile ilgili etkileri değerlendirilmiştir. Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılarak iki aşamalı benzetim çalışması gerçekleştirilmiş ve öncelikle sistemde HVDC'nin bulunmadığı durum analiz edilmiş, ikinci aşamada ise 7 ile 8 numaralı iletim hatları arasına HVDC entegre edilerek karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmıştır.

2. YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (HVDC) SİSTEMİ

Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC) sistemleri, Alternatif Akım (AA) şebekeleri ile Doğru Akım (DA) şebekeleri arasında kullanılır. Güç elektroniği eviricilerinden oluşan HVDC sistemleri, AA elektriğinin doğrultucu istasyonunda DA'ya dönüştürülüp uzak mesafelere iletilmesini ve evirici istasyonunda tekrar AA'ya çevrilmesini sağlayarak uzun mesafeli güç transferini mümkün kılar [11]. Güç sistemlerinde HVDC sistemlerinin genel kullanım şeması Görsel 1'de yer almaktadır.



Görsel 1. Güç sistemlerinde HVDC kullanım şeması

Geleneksel AA sistemlerinde iletim hatları direnç ve reaktansı birlikte barındırırken, HVDC sistemlerindeki DA iletim hatları yalnızca direnç barındırır. Bu durum, hattın giriş ve çıkış baraları arasındaki gerilim düşümünün AA hatlarına kıyasla çok daha düşük olmasını sağlar. Ayrıca HVDC şebekelerinde, AA ve DA istasyonları gücü çift yönlü olarak iletebilme kapasitesine sahiptir. Bu istasyonlarda kullanılan Yalıtılmış Geçitli Çift Kutuplu Transistör (IGBT) gibi güç elektroniği donanımları, aktif güç kontrolünün yanı sıra reaktif güç üretme ve sönümleme yeteneğine de sahiptir. Bu durum, birden fazla terminal üzerinden elektrik gücünün iletimini yönetmek, tıkanıklık yönetimini kolaylaştırmak ve şebekenin güç akışı problemini ele almak açısından HVDC sistemleri önemli bir araç haline getirmektedir [8].

3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE GÜÇ AKIŞI ANALİZİ

Elektrik güç sistemlerinde bu analiz ile kararlı durum koşulları göz önünde bulundurularak baraların gerilim, faz açısı, aktif güç ve reaktif güç büyüklükleri elde edilebilir. Bu büyüklüklerin hesaplanabilmesi amacıyla bu çalışmada Newton-Raphson yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, elektrik güç sistemindeki bir i barası için akım, gerilim ve aktif-reaktif güç eşitlikleri aşağıda mevcut olan (1)-(3) numaralı denklemlerde yer almaktadır:

$$I = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - V_j \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (1)$$

$$P_i + jQ_i = VI_i^* \quad (2)$$

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - V_j \sum_{j=1}^n y_{ij} \quad (3)$$

Denklem (1) - (3) arasında mevcut olan P_i ve Q_i , baranın aktif ve reaktif güç büyüklükleridir. Buna ek olarak, V_i , V_j ve V_i^* ifadeleri i ile j baraları için gerilim ve gerilimin eşleniğini ifade ederken; y_{ij} ilgili baralar arasındaki admitansı belirtir.

Güç akışı sonucunda elde edilen aktif ve reaktif güç büyüklükleri olan P_{pf} ve Q_{pf} ise aşağıdaki denklemlerde verilmiştir:

$$P_{pf} = V_i \sum_{j=0}^{NB} V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (4)$$

$$Q_{pf} = V_i \sum_{j=0}^{NB} V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (5)$$

Bu denklemlerde yer alan, G_{ij} , B_{ij} ve δ_{ij} ifadeleri sırasıyla baralar arasında yer alan kondüktans, süseptans ve açı ifadeleridir.

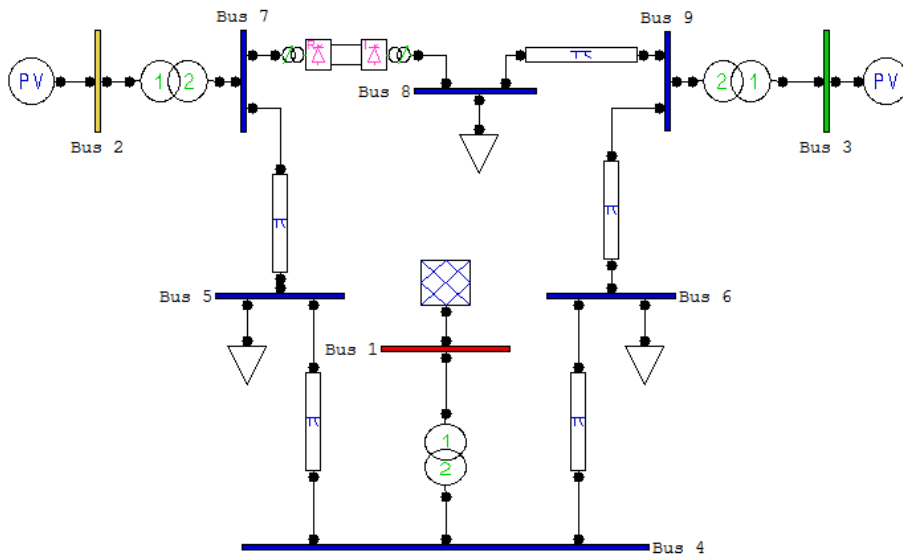
Güç akışı analizi öncesinde sistemden talep edilen güç ve üretilen güç arasındaki denge durumu ise aşağıdaki denklemde yer aldığı gibi hesaplanabilir:

$$\begin{aligned} P_s &= P_g - P_d \\ Q_s &= Q_g - Q_d \end{aligned} \quad (6)$$

Güç akışı analizinin ardından elde edilen gerilim, açı ve aktif-reaktif güç değerleri iterasyonlara bağlı olarak oluşturulan Jakobiyen matrisi ile elde edilir. Bu matematiksel yaklaşım ve iterasyona bağlı çözüm süreci sayesinde, HVDC sisteminin şebekeye entegre edilmeden önceki ve edildikten sonraki kararlı durum aktif-reaktif güç kayıp değerleri hesaplanabilmektedir [20].

4. BENZETİM ÇALIŞMASI VE SONUÇLARI

Benzetim çalışması Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) kullanılarak, Görsel 2’de sunulan IEEE 9 baralı güç sistemi için gerçekleştirilmiştir [21].



Görsel 2. IEEE 9 baralı güç sistemi.

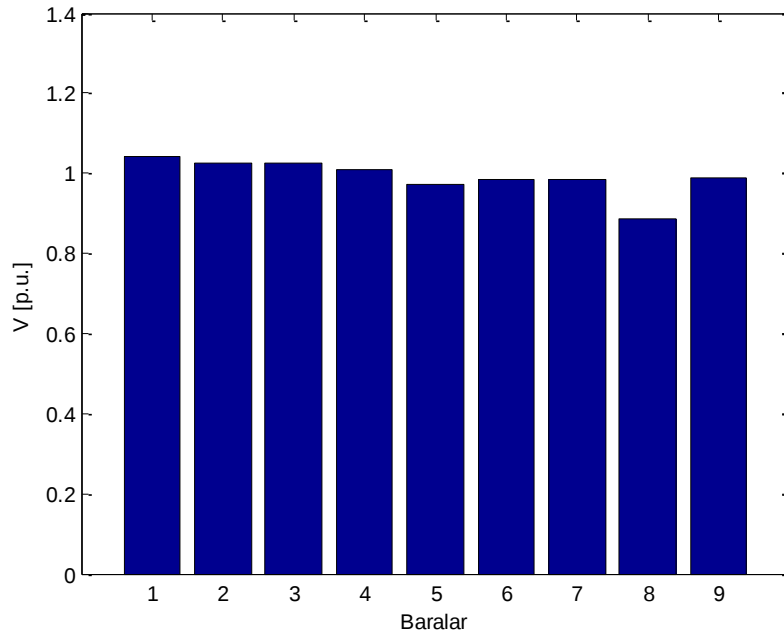
3 adet transformatör ve 6 adet iletim hattının kullanıldığı bu güç sisteminde, salınım barası 1 numaralı bara, generatör barası (PV) 2 ile 3 numaralı bara ve yük baraları ise 4,5,6,7,8 ve 9 numaralı baralar olarak belirlenmiştir. Buna göre, benzetim çalışması iki aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle, sistemde HVDC'nin kullanılmadığı durum için güç akışı analizi gerçekleştirilmiş sonraki aşamada ise sistemde 7 ile 8 numaralı baralar arasındaki iletim hattı çıkarılmıştır. Bunun yerine, Görsel 2'de görüldüğü gibi HVDC sistemi entegre edilmiştir.

4.1. Durum 1: HVDC Sisteminin Kullanılmadığı Durumda Güç Akışı Analizi

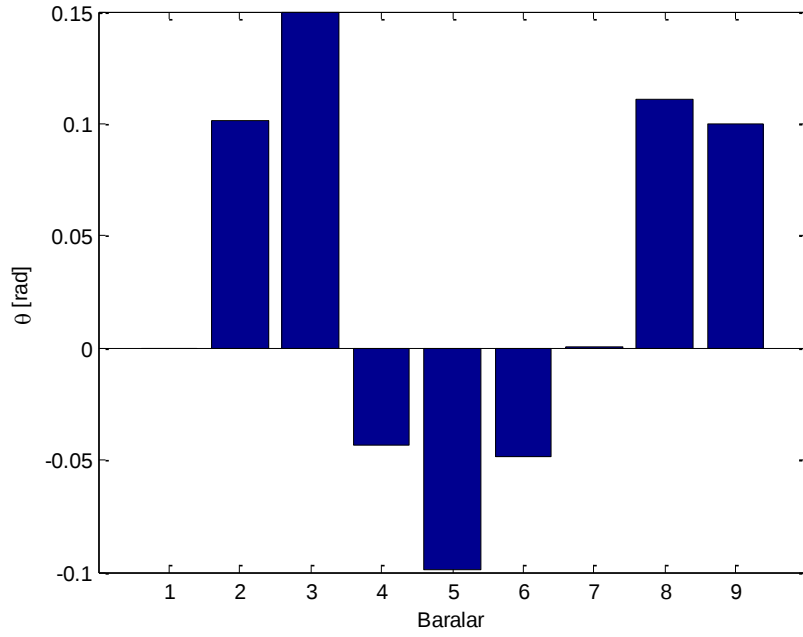
Sistemde HVDC sisteminin kullanılmadığı durum için gerçekleştirilen analiz neticesinde üretilen ve tüketilen aktif güç ve reaktif güçler ile toplam kayıplar Çizelge 1'de verilmiştir. Buna göre HVDC'nin bağlı olmadığı durumda **0.04641 p.u** aktif güç kaybı ve **-0.9216 p.u** reaktif güç kaybı söz konusu olmuştur. Buna ek olarak, sistemde HVDC'nin bağlı olmadığı durum için gerçekleştirilen güç akışı analizi sonucunda edinilen bara gerilim ve açı profilleri ile aktif-reaktif güç profilleri sırasıyla Görsel 3 - Görsel 6 arasında sunulmuştur.

Çizelge 1. HVDC Sisteminin Kullanılmadığı Durumda Güç Değerleri.

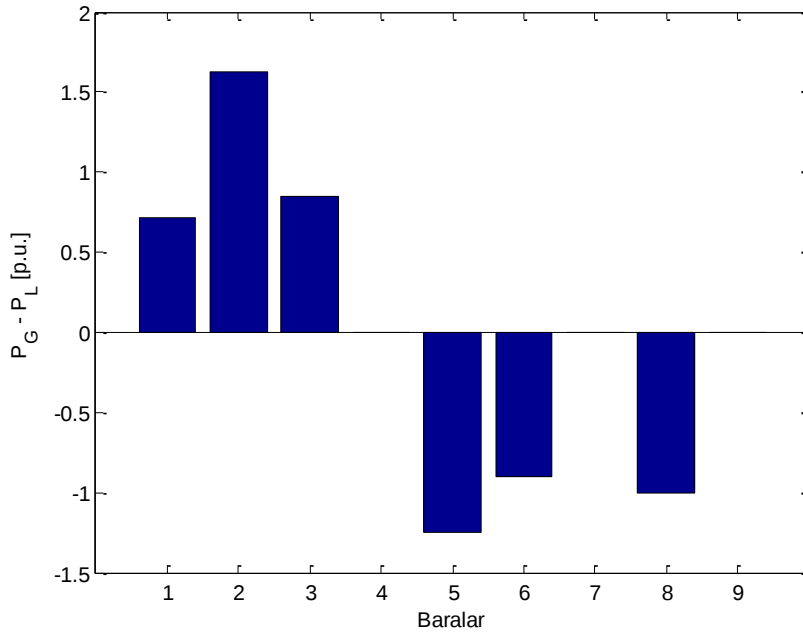
	Üretilen Güç [p.u.]	Tüketilen Güç [p.u.]	Kayıp Güç [p.u.]
Aktif Güç	3. 1964	3.15	0.04641
Reaktif Güç	0.2284	1.15	-0.9216



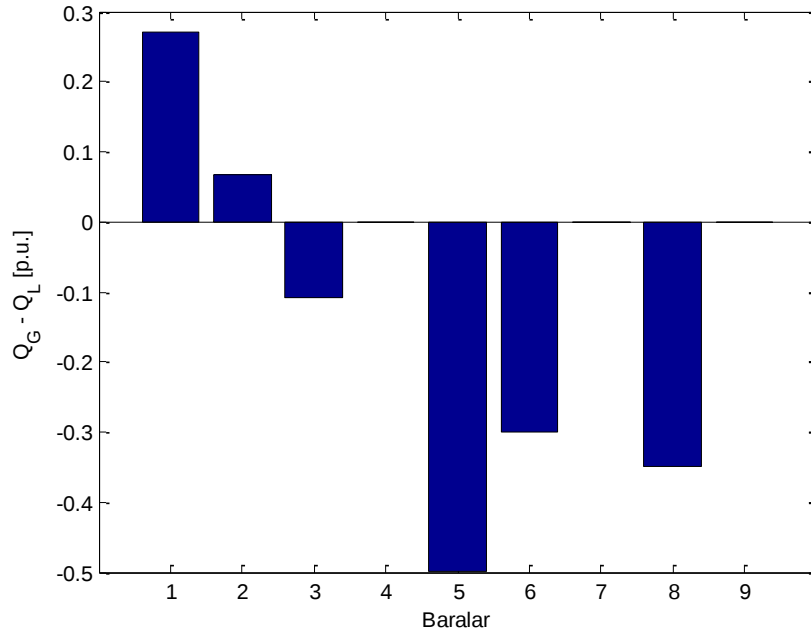
Görsel 3. HVDC Sisteminin Kullanılmadığı Durumda Bara Gerilim Profilleri.



Görsel 4. HVDC Sisteminin Kullanılmadığı Durumda Bara Açı Profilleri.



Görsel 5. HVDC Sisteminin Kullanılmadığı Durumda Aktif Güç Profilleri.



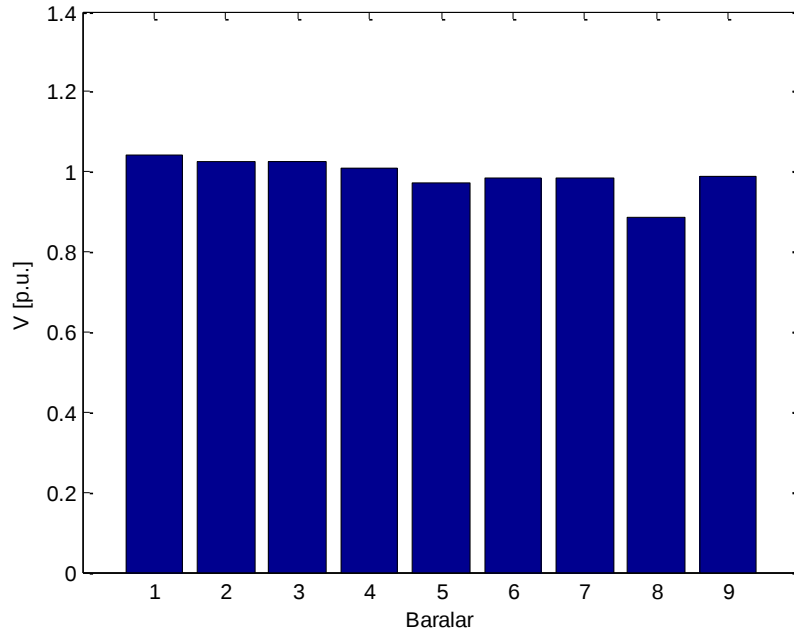
Görsel 6. HVDC Sisteminin Kullanılmadığı Durumda Reaktif Güç Profilleri.

4.2. Durum 2: HVDC Sisteminin Kullanıldığı Durumda Güç Akışı Analizi

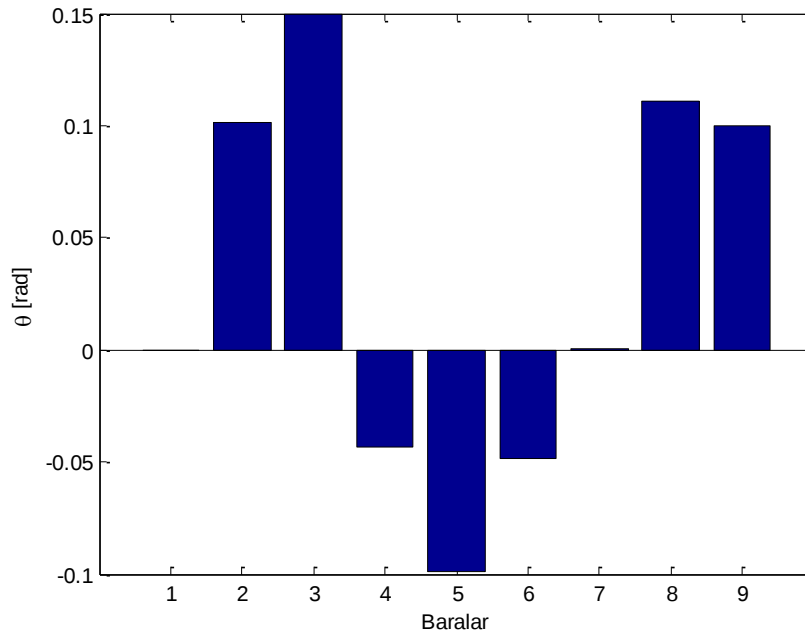
Benzetim çalışmasının ikinci aşamasında sistemde 7-8 numaralı baralar arasında HVDC'nin yer aldığı durum için güç akışı analizi yapılmıştır. Bu analiz neticesinde üretilen ve tüketilen aktif-reaktif güç ve kayıplar Çizelge 2'de sunulmuştur. Bu analizde, HVDC'nin bağlı olduğu durum için aktif güç ve reaktif güç kayıpları **0.1207 p.u** ve **0.85734 p.u** olmuştur. Ayrıca HVDC'nin bağlı olmadığı durum için bara gerilim ve açı profilleri ile aktif-reaktif güç profilleri sırasıyla Görsel 7-Görsel 10'da sunulmuştur.

Çizelge 2. HVDC Sisteminin Kullanıldığı Durumda Güç Değerleri.

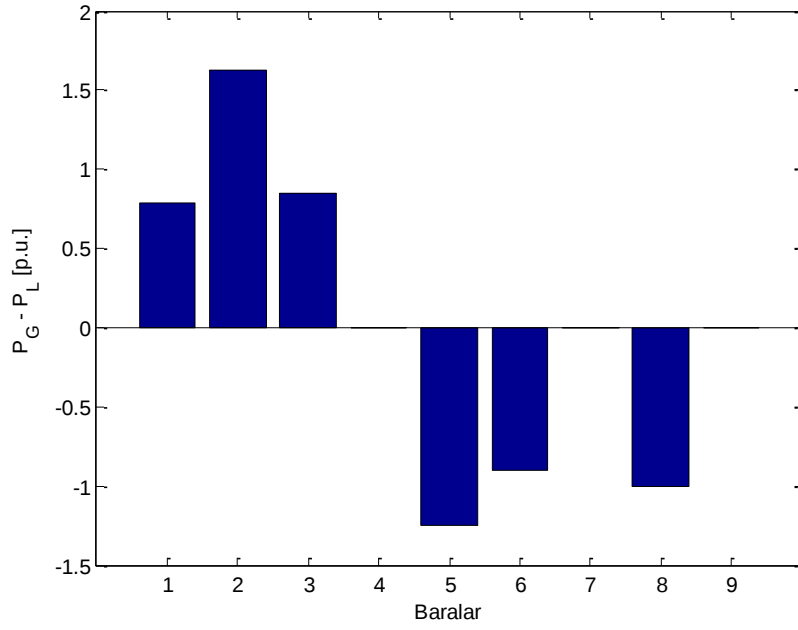
	Üretilen Güç [p.u.]	Tüketilen Güç [p.u.]	Kayıp Güç [p.u.]
Aktif Güç	3.2707	3.15	0.1207
Reaktif Güç	2.0073	1.15	0.85734



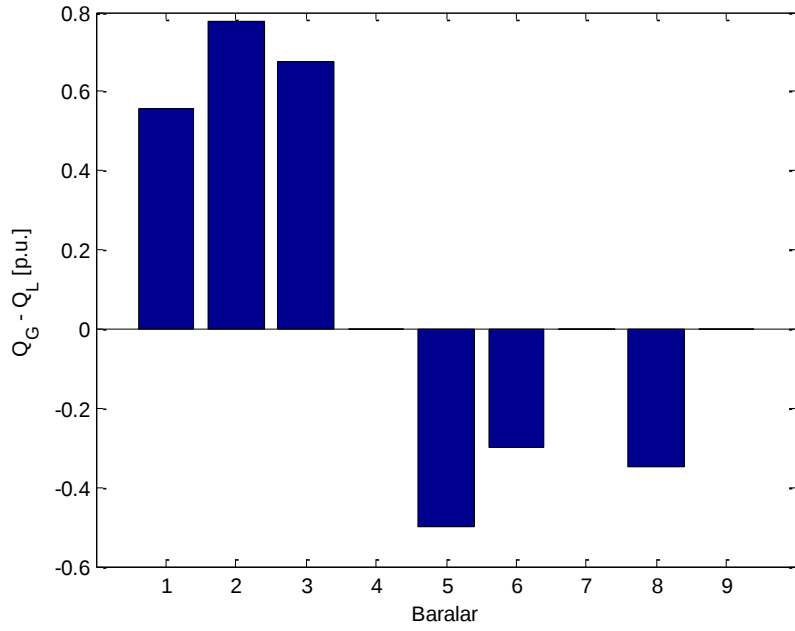
Görsel 7. HVDC Sisteminin Kullanıldığı Durumda Bara Gerilim Profilleri.



Görsel 8. HVDC Sisteminin Kullanıldığı Durumda Bara Açı Profilleri.



Görsel 9. HVDC Sisteminin Kullanıldığı Durumda Aktif Güç Profilleri.



Görsel 10. HVDC Sisteminin Kullanıldığı Durumda Reaktif Güç Profilleri.

Elde edilen sonuçlar, IEEE 9 baralı güç sistemi için değerlendirildiğinde, HVDC kullanılan durum için gerçekleştirilen güç akışı analizinde HVDC kullanılmadığı durum için gerçekleştirilen güç akışı analizine kıyasla kayıplarda artış durumu söz konusu olduğu

görülmüştür. Bunun yanı sıra bara gerilim, açı ve aktif-reaktif güç profilleri açısından da azalmalar söz konusu olmuştur.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çok baralı bir güç sistemi için gerçekleştirilen güç akışı analizinde HVDC'nin güç akışı ve kayıplar üzerindeki etkileri detaylı olarak incelenmiştir. IEEE 9 baralı güç sistemi için HVDC'nin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlardaki aktif ve reaktif güç kayıpları ile gerilim, açı, aktif güç ve reaktif güç profilleri yorumlanmıştır. Literatürde HVDC sistemlerinin DA geriliminde iletim hatlarındaki güç transferinde kayıpları azalttığı kabul görmekle birlikte, bu çalışmada güç akışı analizi için aktif ve reaktif güç kayıpları için artışa sebep olmuştur. Bunun yanı sıra bara gerilim, açı, aktif güç ve reaktif güç profillerinde de azalmaya sebep olmuştur. Buna göre, HVDC'nin güç sistemlerinde güç akışı analizinde kullanıldığı durumda, aktif güç ve reaktif güç kayıplarını azaltmak ve bara profillerini iyileştirmek amacıyla ek donanımlara ihtiyaç duyulduğu ortaya çıkmıştır. Bu noktada, bu çalışma genelinde ilerleyen çalışmalar için HVDC sistemlerine ek olarak güç elektroniği tabanlı FACTS cihazları tercih edilerek güç akışı analizi ve farklı analizler gerçekleştirilmesine zemin hazırlanmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Lv, Z., Shang, W. Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review. *Green Technologies and Sustainability*, 1(1), 100002, 2023.
- [2] Antunes, V., Da Aquino, A. C., Silva, A. S. Design of Multiple Supplementary Controllers for Embedded HVDC Links Using a Model-Free Adaptive Control Approach. *IEEE Access*, 14, 25802-25817, 2026.
- [3] Harrison, A., Alombah, N. H., Kamel, S., Kotb, H., Ghoneim, S. S., & El Myasse, I. A novel MPPT-based solar irradiance estimator: integration of a hybrid incremental conductance integral backstepping algorithm for PV systems with experimental validation. *Engineering Proceedings*, 56 (1), 262, 2023.
- [4] Raza, M. W., Raza, M., Badia, J. G., Prieto-Araujo, E., Gomis-Bellmunt, O. Fault handling capabilities of grid-forming wind turbines in offshore wind farms connected with MMC HVDC system. *IEEE access*, 12, 36404-36414, 2024
- [5] Van Hertem D., Gomis-Bellmunt O., Liang J., HVDC grids: for offshore and supergrid of the future. John Wiley & Sons, 2016.

- [6] Han M. and Gole A., Modeling and Simulation of HVDC Transmission. Institution of Engineering and Technology, 2020.
- [7] Benasla M., Allaoui T., Brahami M., Denai M., Sood V. K. HVDC links between North Africa and Europe: Impacts and benefits on the dynamic performance of the European system, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 3981-3991, 2018.
- [8] Akbari E., Naghibi, A. F., Veisi M., Pirouzi S., Safaei S. High voltage direct current system-based generation and transmission expansion planning considering reactive power management of AC and DC stations. Scientific Reports, 15(1), 15537, 2025.
- [9] Sun, J., Su, C., Song, J., Yao, C., Ren, Z., & Sui, Q. Capacity planning for large-scale wind-photovoltaic-pumped hydro storage energy bases based on ultra-high voltage direct current power transmission. Energy, 320, 135224, 2025.
- [10] Mousavi M. H., Moradi H., Rouzbehi K., Sood V. K. Multiterminal High-Voltage Direct Current Projects: A Comprehensive Assessment and Future Prospects. High Voltage, 11(2), 317-344, 2026.
- [11] Kaymaz E. ve Döşoğlu M.K., *Güç Sistemlerinde Statik Gerilim Kararlılığı İçin Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC) Sisteminin Etkileri*, Avrasya 15th International Conference On Applied Sciences, 249-257, Tbilisi, March 13 – 15, 2026.
- [12] Mouassa, S., Alateeq, A., Alassaf, A., Bayindir, R., Alsaleh, I., Jurado, F. Optimal power flow analysis with renewable energy resource uncertainty using dwarf mongoose optimizer: Case of ADRAR isolated electrical network. IEEE Access, 12, 10202-10218, 2024.
- [13] Glover, J. D., Sarma, M. S., Overbye, T. *Power system analysis & design, SI version*. Cengage Learning, Boston, 2012.
- [14] Tinney, W. F., & Hart, C. E. (1967). Power flow solution by Newton's method. IEEE Transactions on Power Apparatus and systems, (11), 1449-1460.
- [15] Teng J. H. A modified Gauss–Seidel algorithm of three-phase power flow analysis in distribution networks. International journal of electrical power & energy systems, 24, 2, 97-102, 2002.
- [16] Stott B., and Alsac O. (2007). Fast decoupled load flow. IEEE transactions on power apparatus and systems, (3), 859-869.
- [17] Sereeter B., Vuik C., Witteveen C. On a comparison of Newton–Raphson solvers for power flow problems. Journal of Computational and Applied Mathematics, 360, 157-169, 2019.

- [18]** Seng C. K., Tien T. L., Nanda J., Masri S. Load flow analysis using improved Newton-Raphson method. *Applied Mechanics and Materials* 793, 494-499, 2015.
- [19]** Samburi N., and Nor A. F. M. A Comparative Study of Gauss-Seidel and Newton-Raphson Methods in Power Flow Analysis. *Multidisciplinary Applied Research and Innovation*, 6(2), 89-95, 2025.
- [20]** Saadat H., *Power system analysis*. New York: McGraw-Hill, 1999.
- [21]** Milano F., An open source power system analysis toolbox. *IEEE Transactions on Power systems*, 20(3), 1199-1206, 2005.

AYAKKABI ENDÜSTRİSİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK İÇİN MODÜLER TASARIM VE EKLEMELİ İMALAT YAKLAŞIMLARI

Ebrar BAŞARAN

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa,
ebrarbasaran@ogr.iuc.edu.tr- 0009 0007 0507 338X

Dr.Öğr. Üyesi Serap ÇAŞKURLU

İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa,
serap.kocabiyik@iuc.edu.tr- 0000-0002-4103-3314

ÖZET

Küresel ayakkabı endüstrisi, geleneksel doğrusal üretim modeli (al-üret-at), yüksek kaynak tüketimi ve yapıştırıcı odaklı geri dönüştürülmesi güç karmaşık ürün yapıları nedeniyle önemli çevresel sorunlarla karşı karşıyadır. Bu çalışma, ayakkabı üretiminde döngüsel ekonomiye geçiş stratejisi olarak modüler tasarımın ve eklemeli imalat (3B baskı) teknolojilerinin rolünü incelemektedir. Çalışmada, literatür taraması yapılmış ve güncel endüstriyel örnekler değerlendirilmiştir. Literatür, modüler tasarımın ürün ömrünü uzatma, sökülebilirlik ve onarılabilirlik yoluyla döngüsel ekonomiyi desteklediğini; eklemeli imalatın ise bu yaklaşımın uygulanabilirliğini artırarak malzeme ve üretim verimliliğine katkı sağladığını göstermektedir. Bununla birlikte modülerliğin sağladığı çevresel faydanın; standartlaştırılmış bağlantı arayüzleri, tedarik zinciri görünürlüğü ve tüketici benimsemesi gibi koşullara bağlı olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak, ayakkabı endüstrisinde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için çevresel, teknolojik ve sosyal boyutları birlikte ele alan bir sürdürülebilirlik yaklaşımı gerekmektedir. Bu çalışma, literatürde çoğunlukla ayrı değerlendirilen modüler tasarım ile eklemeli imalat yaklaşımlarını döngüsel ekonomi perspektifinde bir araya getirerek ayakkabı endüstrisi için bütüncül bir değerlendirme sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilirlik, Döngüsel Ekonomi, Modüler Tasarım, Eklemeli İmalat (3B Baskı), Ekotasarım.

**MODULAR DESIGN AND ADDITIVE MANUFACTURING
APPROACHES FOR SUSTAINABILITY IN THE FOOTWEAR INDUSTRY**

Ebrar BAŞARAN

Istanbul University-Cerrahpaşa,
ebrarbasaran@ogr.iuc.edu.tr- 0009 0007 0507 338X

Dr.Öğr. Üyesi Serap ÇAŞKURLU

Istanbul University-Cerrahpaşa,
serap.kocabiyik@iuc.edu.tr- 0000-0002-4103-3314

ABSTRACT

The global footwear industry faces significant environmental challenges due to the traditional linear production model (take-make-dispose), high resource consumption, and complex product structures characterized by adhesive-based assemblies that make recycling difficult. This study examines the role of modular design and additive manufacturing (3D printing) technologies as strategies for transitioning toward a circular economy in footwear manufacturing. A literature review was conducted, alongside a comparative evaluation of current industrial case studies. The literature demonstrates that modular design supports the circular economy by extending product life through disassembly and repairability, while additive manufacturing improves the practical implementation of this approach by contributing to material and production efficiency. However, the literature indicates that the environmental benefits provided by modularity depend on key conditions, including standardized connection interfaces, supply chain visibility, and consumer acceptance. Consequently, achieving sustainability in the footwear industry requires a holistic approach that concurrently addresses environmental, technological, and social dimensions. By bringing together modular design and additive manufacturing approaches, which are often examined separately in the literature, within the framework of the circular economy, this study provides a holistic assessment of sustainable footwear production.

Keywords: Sustainability, Circular Economy, Modular Design, Additive Manufacturing (3D Printing), Ecodesign

1. GİRİŞ

Günümüzde artan tüketim alışkanlıkları ve doğrusal ekonomi modelinin yarattığı aşırı üretim, tekstil ve ayakkabı endüstrisini küresel karbon emisyonlarının ve katı atık oluşumunun ana sorumlularından biri haline getirmiştir. İnsan ayağını dış etkenlerden koruması amacıyla üretilen ayakkabı, günümüzde yıllık üretimi 24 milyar çifti aşan, yüksek kaynak tüketen küresel bir endüstri haline gelmiştir. Geleneksel ayakkabılar genellikle fazla ayrı parçadan oluşmakta ve bu parçalar yapıştırıcı veya dikiş yöntemleriyle birbirine kalıcı olarak sabitlenmektedir. Bir ayakkabının üretiminde onlarca farklı malzemenin (plastik, kauçuk, deri, tekstil) kimyasal yapıştırıcılarla geri döndürülemez biçimde birleştirilmesi, ürünün yaşam döngüsü sonundaki geri dönüşüm ihtimalini neredeyse ortadan kaldırmaktadır. Örneğin ortalama bir koşu ayakkabısının üretiminde yaklaşık 360 işlem adımı bulunması, imalat sürecini enerji, emisyon ve kaynak kullanımı açısından son derece yoğun bir hale getirmektedir (Cheah vd., 2013; Mateu-Romero vd., 2024). Bu çevresel darboğazı aşmak adına, "döngüsel ekonomi" prensipleri doğrultusunda ürünlerin onarılabılır, yeniden üretilebilir ve sökülebilir şekilde tasarlandığı ekotasarım stratejileri önem kazanmıştır.

Sektörde uygulanan bu geleneksel üretim modeli, ayakkabının tek bir bileşeninin hasar görmesi durumunda dahi ürünün onarılamamasına ve tamamının atık haline gelmesine neden olmaktadır. Özellikle deri üretiminde 1 kilogram derinin işlenmesi için yaklaşık 8.000 litre su tüketilmesi, üretim sürecinde zehirli kimyasalların kullanılması ve sentetik malzemelerin doğada çözünememesi ekolojik riskleri büyük ölçüde artırmaktadır. Parçaların ayrıştırılamaması ve yoğun yapıştırıcı kullanımı, geri dönüşümü neredeyse imkânsız hale getirerek sektörü doğrusal "al-üret-at" modeline mahkûm bırakmaktadır.

Ayakkabı sektörünün yarattığı bu çevresel ve sosyal yükler, atık hiyerarşisi ve 6R (Refuse, Reduce, Reuse, Recycle, Redesign, Rot) prensipleri doğrultusunda döngüsel ekonomi modeline geçişi zorunlu kılmaktadır (Küçüköğlu, 2023). Bağımsız parçalardan oluşan, kolayca sökülebilen, onarılabilen ve geri dönüştürülebilen "modüler ayakkabı" tasarımları, ürün ömrünü uzatan güçlü bir strateji olarak literatürde öne çıkmaktadır. Ancak modülerliğin sürdürülebilirliğe dönüşmesi otomatik bir süreç olmayıp; uygun üretim teknolojilerinin kullanımı, standartlaştırılmış bağlantı arayüzleri, tedarik zinciri entegrasyonu ve tüketici davranışları gibi çok boyutlu faktörlere bağlıdır.

Bu çalışmanın amacı; geleneksel ayakkabı üretimine alternatif olarak gelişen modüler tasarım yaklaşımının sürdürülebilirlik hedefleri üzerindeki rolünü bütüncül bir yaklaşımla incelemektir. Bu doğrultuda çalışma, modüler tasarımın çevresel ve teknolojik boyutlarını değerlendirmeyi, sektördeki mevcut uygulamaları analiz etmeyi ve bu döngüsel modelin yaygınlaşmasının önündeki pazar ile altyapı engellerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Ayakkabı endüstrisinde sürdürülebilirlik üzerine yapılan çalışmalar; çözümün tekil süreç iyileştirmeleriyle değil, tasarım aşamasından ürünün yaşam döngüsü sonuna kadar uzanan sistematik bir ekotasarım yaklaşımıyla mümkün olacağını vurgulamaktadır (Sonogo vd., 2018). Literatür, sürdürülebilir inovasyonun teknolojik üretim yöntemleriyle sınırlı kalmaması gerektiğini, aynı zamanda tedarik zinciri entegrasyonu ve tüketici dinamiklerinin de döngüsel ekonomiye uyarlanması zorunlu olduğunu göstermektedir. Geleneksel ayakkabı üretimine alternatif olarak gelişen modüler tasarım yaklaşımı; hem teorik sürdürülebilirlik çerçevelerini

karşılayan döngüsel bir strateji hem de yenilikçi imalat yöntemleriyle (eklemeli imalat vb.) desteklenen pratik bir mühendislik çözümü olarak literatürde öne çıkmaktadır.

Sürdürülebilir tasarımda modülerliğin rolünü kapsamlı bir şekilde inceleyen Sonogo vd. (2018), modüler mimarinin ürünün tüm yaşam döngüsünü (üretim, kullanım ve bertaraf) doğrudan etkilediğini belirtmektedir. Literatür, modülerliğin geri dönüşüm ve onarımı kolaylaştırmak gibi çevresel faydalar sunduğunu gösterse de; tasarımı yaparken kullanıcı davranışları hesaba katılmadığında "hızlandırılmış eskitme" gibi istenmeyen çevresel sonuçlar da doğurabileceği konusunda uyarmaktadır. Bu nedenle, modüler ayakkabı tasarımlarının teorik çerçevede kalmaması; somut üretim teknolojileri ve kullanıcı senaryolarıyla desteklenmesi elzemdir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma, sürdürülebilir ayakkabı endüstrisindeki modülerleşme dinamiklerini incelemek amacıyla hibrit bir araştırma tasarımı benimsemiştir. İlk aşamada, sektördeki ekotasarım stratejilerini ve döngüsel ekonomi modellerini makro düzeyde haritalandırmak için literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. İkinci aşamada ise, bu teorik sürdürülebilirlik çerçevelerinin somut mühendislik çözümlerine nasıl dönüştüğünü değerlendirmek amacıyla laboratuvar ve prototip odaklı uygulamalı araştırmalar vaka analizi olarak ele alınmıştır.

Araştırma kapsamında; akademik veritabanları ve sektörel raporlar üzerinden "sürdürülebilir ayakkabı", "modüler tasarım", "döngüsel ekonomi" ve "eklemeli imalat" anahtar kelimeleriyle veriler toplanmıştır. Elde edilen bulgular modülerliğin çok boyutlu yapısını yansıtacak şekilde tematik bir yaklaşımla; tasarım/malzeme boyutu, üretim teknolojileri/sosyal boyut ve endüstriyel/kullanıcı perspektifi olmak üzere üç ana eksenle sınıflandırılarak analiz edilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Tasarım ve Malzeme Boyutunda Sürdürülebilirlik

Geleneksel ayakkabı tasarımının, geri dönüştürülemeyen yapıştırıcı kullanımı ve karmaşık parça yapısı nedeniyle çevresel bir darboğaz yarattığı tespit edilmiştir. Yaşam Döngüsü Analizi metrikleri, ayakkabının çevresel etkisinin büyük bölümünün tasarım aşamasındaki malzeme kararlarıyla belirlendiğini ortaya koymaktadır. Nitekim yapılan vaka analizleri, modüler tasarım yaklaşımının geleneksel modellere kıyasla çevresel yükleri %51 oranında azaltabildiğini somut olarak ortaya koymaktadır (Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano vd., 2025). Sektörde, fosil kaynaklı sentetiklerin yerine bitkisel bazlı malzemeler ile geri dönüştürülmüş atıklardan elde edilen kompozitler giderek daha fazla tercih edilmektedir. Bununla birlikte güncel literatür, biyobazlı uygulamaların çoğunlukla ayakkabının tamamından ziyade sadece taban, yapıştırıcı, kaplama ve iç taban kısımlarıyla sınırlı kaldığına işaret etmektedir (Mateu-Romero vd., 2024). Modüler ayakkabı tasarımında ise termoplastik poliüretan (TPU), esnekliği, yorulma direnci ve kimyasal dayanımı sayesinde en çok öne çıkan malzeme olmuştur (Havenga & van der Walt, 2023). Ancak modülerliğin kendiliğinden bir sürdürülebilirlik sağlamadığı; asıl belirleyici faktörün parçaların tersine çevrilebilir, standartlaştırılmış mekanik arayüzler ile birleştirilmesinin olduğu görülmüştür (Inselmann vd., 2025). Modüler ayakkabı tasarımlarında geometri, geçme toleransları ve mekanik kilitlenme mekanizmalarının henüz endüstriyel bir standarda (örneğin ISO/EN standartları) sahip olmaması ticari ölçeklenmeyi sınırlandırmaktadır.

Sürdürülebilirlik çevresel boyutu açısından; yaşam döngüsü analizi ve malzeme döngüsellik göstergesi kavramlarının, biyobazlı/biyobozunur malzemelerin (Piñatex, Desserto vb.) taban, yapıştırıcı ve iç taban dışında kalan kısımlara da yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Tedarik zinciri ve sosyal boyut; sürdürülebilirlik fabrikadaki emisyonlardan ibaret olmayıp; tedarik zinciri koordinasyonu, işçi koşulları, işyeri sağlık ve güvenliği ile ücret/yan haklar gibi sosyal sürdürülebilirlik göstergelerinin de sürece dahil edilmesi elzemdir.

Geleneksel doğrusal üretim ile döngüsel modüler üretimin operasyonel ve çevresel parametreler bakımından karşılaştırması Çizelge 1'de görülmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, kimyasal yapıştırıcıların yerini alan mekanik arayüzler ve azaltılmış parça sayısı, ürünün kullanım ömrü sonundaki geri dönüştürülebilirlik potansiyelini doğrudan artırmaktadır.

Çizelge 1. Geleneksel ve Modüler Ayakkabı Üretim Modellerinin Çevresel ve Operasyonel Karşılaştırması

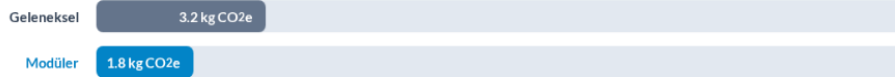
Parametre	Geleneksel Üretim (Doğrusal)	Modüler Üretim (Döngüsel)
Parça Sayısı	Yüksek	Düşük (3 - 5 ana fonksiyonel modül)
Birleştirme Yöntemi	Kimyasal yapıştırıcılar (Geri döndürülemez)	Mekanik arayüzler / Geçmeli sistemler
Malzeme Çeşitliliği	Karma yapılı (Deri, tekstil, plastik bir arada)	Homojen / Ayırıştırılabilir (Örn: TPU, poliamid 12)
Kullanım Sonu	Büyük oranda çöp sahası /yakma	Hasarlı modülün değişimi, kolay söküm ve geri dönüşüm
Kişiselleştirme	Düşük (Seri üretim sonrası müdahale zor)	Yüksek (Bireysel topolojik optimizasyon ve parça değişimi)

Yaşam döngüsü karbon emisyonları açısından yapılan karşılaştırmalar da modüler üretim yaklaşımının geleneksel üretime kıyasla daha düşük çevresel etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Görsel 1).

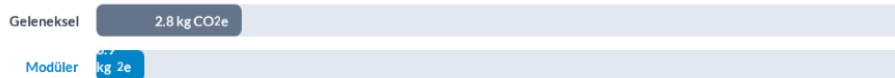
1. Üretim Aşaması (Azaltılmış parça ve verimli malzeme kullanımı ile %51 düşüş)



2. Kullanım Aşaması (Değiştirilebilir modüllerle tamir süreçlerinde %44 düşüş)



3. Kullanım Sonu Aşaması (Mekanik ayrıştırma ile geri dönüşümde artış)



Görsel 1. Geleneksel ve modüler ayakkabı üretim modellerinin yaşam döngüsü boyunca karbon emisyonlarının karşılaştırılması.

3.2. Eklemeli İmalat ve Kütle Optimizasyonunda Uygulamalı Bulgular

Geleneksel üretimdeki karmaşık yapının aksine, eklemeli imalat (3B baskı) teknolojileri (SLS ve MEX) modüler ayakkabıları üç ana fonksiyonel parçaya indirebilmektedir. Ek olarak, topolojik optimizasyon ile üretilen kafes yapılar sayesinde, konfor ve dayanıklılık hedefleri korunurken kütle azaltımı sağlandığı görülmektedir (Ghimouz vd., 2023). Bir spor ayakkabı üretimi ortalama 60 ayrı parça ve 360'a yakın işlem adımı gerektirirken (Cheah vd., 2013), eklemeli imalat yöntemleri kullanılarak bu karmaşık yapı "dış taban, iç taban ve saya" olmak üzere üç ana fonksiyonel parçaya indirgenebilmektedir.

Teorik çerçevelerin pratiğe döküldüğü güncel uygulamalı araştırmalar, modüler tasarımın çevresel yükleri somut mühendislik verileriyle nasıl azalttığını kanıtlamaktadır. Ghimouz vd. (2023) tarafından yapılan çalışmada, PA12 ve TPU kullanılarak, kimyasal yapıştırıcı gerektirmeyen "geçmeli" mekanik bir montaj sistemi geliştirilmiştir. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) sonuçları, tasarlanan bu sistemin sökülme kuvvetinin (624 N / 63,63 kgf), ayakkabı endüstrisi standardı olan 40 kgf'nin çok üzerine çıktığını kanıtlamaktadır. Ayakkabının saya kısmında "topolojik optimizasyon" ve Üç Kez Periyodik Minimum Yüzeyler (TPMS) tabanlı kafes yapılar kullanılarak, kullanıcının yürüme konforundan ödün vermeden kütlede %34 oranında malzeme tasarrufu sağlandığı raporlanmıştır (Görsel 2). Bu veriler, hedeflenen çevresel kaynak optimizasyonunun, uygun eklemeli imalat için tasarım araçları ile endüstriyel olarak gerçekleştirilebilir olduğunu doğrulamaktadır.



Görsel 2. Eklemeli imalat (3B baskı) ile üretilmiş kafes yapılı esnek taban modülleri. (Sol görsel Vialva'dan (2019), sağ görsel ise Doral Health & Wellness'tan (2025) alınmıştır.).

3.3. Endüstriyel Uygulamalar ve Kullanıcı Perspektifi

İncelenen endüstriyel örneklerde teorik altyapının pratiğe başarılı yansımaları görülmüştür. Nike ISPA Link modeli yapıştırıcısız yapısıyla tam döngüsel geri dönüşüm sunarken (Görsel 3); 5 ayrı sökülebilir modülden oluşan ve yaşam döngüsü sonunda parçaların iadesine dayalı kapalı döngü modeli uygulayan Methods Footwear (Görsel 4) gibi ticari örnekler teorinin uygulanabilirliğini kanıtlamaktadır. UltraAdapt modeli felçli bireyler için sunduğu değiştirilebilir parça sistemiyle modülerliğin "sosyal sürdürülebilirlik" ve erişilebilirlik boyutlarına katkı sağlamaktadır (Aflatoony & Morris, 2024). Buna karşın modülerliğin "koşullu bir strateji" olduğu ifade edilmektedir (Sonogo vd., 2018). Çevresel fayda, son

kullanıcının hasarlı modülü değiştirmesi ve geri dönüşüm ağına katılmasına bağlıdır (Amend vd., 2022; Psarommatis vd., 2025). Araştırmalar; montaj zorluğu, modüler arası dayanıklılık kaygısı, hijyen kaygıları ve kültürel bariyerlerin kullanıcı benimsemesini yavaşlatabileceğini ortaya koymaktadır (Mittal vd., 2023).



Görsel 3. Nike ISPA Link modelinin yapıştırıcısız modüler tasarımı.
(Sol görsel Nike (2022), sağ görsel Fuorisalone (2022)'den alınmıştır.)



Görsel 4. Methods Footwear markasının sökülebilir modüler ayakkabı tasarımı
(Methods Footwear web sitesinden alınmıştır.)

Kullanıcı ve Pazar Engelleri: Modüler ürünlerin fayda sağlamasının tüketicinin bunu gerçekten kullanmasına bağlı olduğu belirtilmelidir. Kullanıcılar modül değişimine sıcak baksa da; montaj zorluğu, hijyen endişeleri, lojistik maliyetler ve kültürel bariyerler nedeniyle bu ürünleri benimsemesinin zaman alacağı önemli bir tartışma konusu olmaya devam etmektedir.

Tedarik Zinciri ve Sosyal Boyut: Sürdürülebilir üretim fabrika içindeki çevresel iyileştirmelerden ibaret değildir; tedarik zinciri koordinasyonu, süreç görünürlüğü ve işçi koşulları belirleyici faktörlerdir (Karaosman vd., 2020). Uygulamadaki başlıca engeller arasında; mevzuat ile sanayi arasındaki uyumsuzluklar, Endüstri 4.0 yetkinlik eksikliği ve tedarikçi senkronizasyon sorunları yer almaktadır (Dwivedi vd., 2021). Sosyal sürdürülebilirlik bağlamında ise işyeri sağlık ve güvenliği ile adil ücretlendirme en güçlü kolaylaştırıcılar olarak öne çıkarken, bu boyutun çevresel göstergelere kıyasla daha az incelendiği görülmektedir (Munny vd., 2019).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen veriler; geleneksel ürün mimarisine karşı, modüler ayakkabı tasarımının ürün ömrünü uzatan ve kapalı döngü ekonomiyi destekleyen güçlü bir strateji sunduğunu göstermektedir. Eklemeli imalat teknolojileri ve topolojik optimizasyon yöntemleri sayesinde, üretimdeki işlem adımlarının ve malzeme tüketiminin radikal biçimde azaltılabildiği doğrulanmıştır. Bulgular, karbon emisyonu karşılaştırmalarının da ortaya koyduğu üzere modüler tasarım ve eklemeli imalatın çevresel performansı önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir.

Bu bulgular doğrultusunda şu öneriler geliştirilmiştir:

- Modüler sistemlerin ticari olarak ölçeklenebilmesi için, markalar arası uyumluluğu da gözetecek endüstriyel "bağlantı standartlarının" geliştirilmesi gerekmektedir.
- Ekotasarım süreçleri karbon azaltımı ile birlikte; tedarik zincirindeki şeffaflık ve işçi sağlığı gibi sosyal sürdürülebilirlik metrikleri de üretim modeline zorunlu bir kriter olarak entegre edilmelidir.
- Kullanıcıların modüler sistemlere yönelik estetik ve dayanıklılık kaygısı gibi engelleri aşmak için, kullanım kolaylığı sağlayan tasarımlara ve modül değişimini teşvik edecek tersine lojistik (iade) altyapılarına yatırım yapılmalıdır.
- Ekotasarım uygulamaları ayakkabının sınırlı parçalarında kalmakta, tedarik zinciri görünürlüğü ve mevzuat-sanayi uyumsuzluğunun aşılması gerekmektedir.
- Mevzuat ve Politika Desteği: Döngüsel modüler tasarımların teşvik edilmesi amacıyla, Avrupa Birliği'nin Genişletilmiş Üretici Sorumluluğu (EPR) gibi yasal düzenlemelerinin ulusal ve uluslararası pazarlarda zorunlu standartlar haline getirilmesi gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, laboratuvar ölçeğindeki prototiplerin ötesine geçerek gerçek endüstriyel pilot uygulamalara odaklanması önem taşımaktadır. Modüler ayakkabı tasarımlarının çevresel performansının yaşam döngüsü değerlendirme yöntemleriyle bütüncül olarak analiz edilmesi ve tüketicilerin modüler sistemleri benimseme düzeyini inceleyen çalışmaların artırılması, bu yaklaşımın endüstriyel ölçekte yaygınlaştırılmasına önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

- Aflatoony, L., & Morris, K. (2024). Ultra Adapt: Adaptive Modular Footwear with Interchangeable Backs. *ITAA Annual Conference Proceedings*.
- Amend, C., Revellio, F., Tenner, I., & Schaltegger, S. (2022). The potential of modular product design on repair behavior and user experience – Evidence from the smartphone industry. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132770>
- Cheah, L., Duque Ciceri, N., Olivetti, E., Matsumura, S., Forterre, D., Roth, R., & Kirchain, R. (2013). Manufacturing-focused emissions reductions in footwear production. *Journal of Cleaner Production*, 44, 18–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.037>
- Doral Health & Wellness. (2025). *How 3D printing revolutionizes custom orthotics*. <https://doralhw.org/how-3d-printing-revolutionizes-custom-orthotics/>

- Dwivedi, A., Moktadir, M., Jabbour, C. J. C., & De Carvalho, D. D. (2021). Integrating the circular economy and industry 4.0 for sustainable development: Implications for responsible footwear production in a big data-driven world. *Technological Forecasting and Social Change*. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121335>
- Fuorisalone. (2022). Nike has ISPA Link: Modular design for circularity. <https://www.fuorisalone.it/en/magazine/focus/article/912/nike-has-ispa-link-modular>
- Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano, C., Ghannadzadeh, A., & van der Meer, Y. (2025). Life cycle assessment and circularity assessment as complementary methods for the circular and sustainable redesign of multi-material products: A case study on safety industrial footwear. *Journal of Circular Economy*, 3(3), 251–273. <https://doi.org/10.55845/MBRQ4782>
- Ghimouz, C., Kenné, J. P., & Hof, L. A. (2023). On Sustainable Design and Manufacturing for The Footwear Industry - Towards Circular Manufacturing. *Materials & Design*. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.112224>
- Havenga, S., & Van Der Walt, P. (2023). Design optimisation of TPU modular footwear for sustainable fashion: a South African Fashion Week case study, 2023. *MATEC Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202338805005>
- Inselmann, P., Deutschmann, T., & Krause, D. (2025). Enhancing end-of-life sustainability through modularity and interface design in product development. *Proceedings of the Design Society*, 5, 1525 - 1534. <https://doi.org/10.1017/pds.2025.10166>
- Karaosman, H., Perry, P., Brun, A., & Morales-Alonso, G. (2020). Behind the runway: Extending sustainability in luxury fashion supply chains. *Journal of Business Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.09.017>
- Küçükoğlu, A. H. (2023). *Sürdürülebilir Ayakkabı Üretiminin Yaşam Döngüsü Analizi ile Değerlendirilmesi*. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Mateu-Romero, B., Almendro-Candel, M. B., Melendez-Pastor, I., Navarro-Pedreño, J., Pérez-Gimeno, A., & Arán-Ais, F. (2024, June 4–7). Life cycle assessment of different end-of-life scenarios for footwear [Poster presentation]. Life Cycle Innovation Conference (LCIC 2024), Berlin, Germany. <https://fslci.org/lcic/lcic2024/lcic2024-posters/life-cycle-assessment-of-different-end-of-life-scenarios-for-footwear/>
- Methods Footwear. (n.d.). *Methods footwear*. <https://methodsfootwear.com/>
- Mittal, S., Khan, M. A., Yadav, V., & Sharma, M. K. (2023). Footwear as product-service systems: Toward sustainable alternative consumption scenarios. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.3519>
- Munny, A. A., Ali, S. M., Kabir, G., Fazleen, S. B. A., Salman, S., & Islam, M. T. (2019). Enablers of social sustainability in the supply chain: An emerging economy perspective. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118062. doi.org
- Nike. (2022). ISPA Link & Link Axis. <https://about.nike.com/en/magazine/ispa-link-link-axis>

- Sonego, M., Echeveste, M., & Debarba, H. (2018). The role of modularity in sustainable design: A systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 176, 196-209. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.106>
- Psarommatis, F., May, G., & Azamfirei, V. (2025). Product reuse and repurpose in circular manufacturing: a critical review of key challenges, shortcomings and future directions. *Journal of Remanufacturing*, 15, 273 - 310. <https://doi.org/10.1007/s13243-025-00153-y>
- Vialva, T. (2019, June 28). *Chinese startup invests \$3 million in 3D printed midsole production facility. 3D Printing Industry.*
<https://3dprintingindustry.com/news/chinese-startup-invests-3million-in-3d-printed-midsole-production-facility/>

BİYOBAZLI AYAKKABI SAYA MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL VE TEKNİK PERFORMANS ANALİZİ

Kübra ŞAHİN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
oemkubraturan@gmail.com- 0009-0009-0960-7072

Dr.Öğr. Üyesi Serap ÇAŞKURLU

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
serap.kocabiyik@iuc.edu.tr- 0000-0002-4103-3314

ÖZET

Doğrusal üretim modellerinin neden olduğu yüksek karbon emisyonları, mikroplastik kirliliği ve kaynak tüketimi, ayakkabı endüstrisinde petrol bazlı sentetik malzemeler ile hayvansal deriye alternatif sürdürülebilir malzemelere yönelik arayışları hızlandırmıştır. Bu çalışmada, ayakkabı saya tasarımında kullanılabilecek üç biyobazlı deri alternatifi (kaktüs derisi, ananas yaprağı lifi ve miselyum) teknik performans, çevresel etki ve endüstriyel uygulanabilirlik açısından Çok Kriterli Karar Analizi yöntemi kullanılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme kapsamında aşınma direnci, yırtılma mukavemeti, suya dayanıklılık, esneklik, yaşam döngüsü değerlendirmesi, seri üretime ölçeklenebilirlik ve maliyet kriterleri değerlendirilmiş; tüm kriterler eşit ağırlıklandırma yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bulgular, polimer kaplamalı yapısı sayesinde kaktüs derisinin mekanik performans ve üretim uyumluluğu bakımından en yüksek toplam puanı elde ettiğini göstermektedir. Ananas yaprağı lifi yüksek mekanik dayanım sergilemesine rağmen, sınırlı su direnci nedeniyle ek yüzey işlemlerine gereksinim duymaktadır. Miselyum bazlı malzemeler ise en düşük çevresel etkiyi sunmasına karşın, mekanik dayanım ve üretim ölçeklenebilirliği konularındaki sınırlılıkları nedeniyle henüz laboratuvar ölçeğinin ötesine geçememektedir. Sonuç olarak biyobazlı malzemeler sürdürülebilir ayakkabı tasarımı açısından önemli bir potansiyel sunmakta; ancak teknik performansın, dayanıklılığın ve ürün ömrünün geliştirilmesine yönelik malzeme inovasyonları, bu alternatiflerin endüstriyel ölçekte yaygınlaşması için kritik önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Ayakkabı Tasarımı, Biyobazlı Malzemeler, Kaktüs Derisi, Ananas Yaprağı Lifi, Miselyum, Çok Kriterli Karar Analizi

**ENVIRONMENTAL AND TECHNICAL PERFORMANCE ANALYSIS OF
BIO-BASED FOOTWEAR UPPER MATERIALS**

Kübra ŞAHİN

Istanbul University-Cerrahpaşa,
oemkubraturan@gmail.com- 0009-0009-0960-7072

Dr.Öğr. Üyesi Serap ÇAŞKURLU

Istanbul University-Cerrahpaşa,
serap.kocabiyik@iuc.edu.tr- 0000-0002-4103-3314

ABSTRACT

The high carbon emissions, microplastic pollution, and intensive consumption of natural resources associated with linear production models have accelerated the search for sustainable alternatives to petroleum-based synthetic materials and animal leather in the footwear industry. This study comparatively evaluates three bio-based leather alternatives suitable for footwear upper applications (cactus leather, pineapple leaf fiber, and mycelium) in terms of technical performance, environmental impact, and industrial applicability using a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) method. The assessment considered abrasion resistance, tear strength, water resistance, flexibility, life cycle assessment (LCA), scalability for mass production, and cost, with all evaluation criteria assigned equal weights. The results indicate that cactus leather achieved the highest overall score due to its polymer-coated structure, demonstrating superior mechanical performance and compatibility with existing manufacturing processes. Although pineapple leaf fiber exhibited high mechanical strength, its relatively low water resistance necessitates additional surface treatments. Mycelium-based materials showed the lowest environmental impact; however, limitations in mechanical performance and production scalability currently restrict their application to the laboratory or pilot scale. Overall, bio-based materials represent promising alternatives for sustainable footwear design. However, further material development and innovation aimed at improving technical performance, durability, and service life are essential for their widespread industrial adoption.

Keywords: Sustainable Footwear Design, Bio-Based Materials, Cactus Leather, Pineapple Leaf Fiber, Mycelium, Multi-Criteria Decision Analysis

1. GİRİŞ

Sanayileşme süreçlerinin hız kazanması ve küresel tüketim alışkanlıklarının ham maddeden atığa doğrusal ekonomi modeli ekseninde gelişmesi, doğal kaynaklar üzerindeki antropojenik baskıyı kritik seviyelere ulaştırmıştır. Özellikle moda ve ayakkabı endüstrisi; yüksek ham madde tüketimi, enerji yoğun üretim aşamaları ve kullanım ömrü sonunda geri dönüşü oldukça güç olan çok bileşenli, heterojen ürün yapıları nedeniyle küresel çevresel kirliliğin önde gelen sorumlularından biri olarak kabul edilmektedir. Küresel ölçekte her yıl yaklaşık 24 milyar çift ayakkabı üretilmektedir (World Footwear, 2025). Tekstil ve hazır giyim sektörü, toplam küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %2 ile %8'lik payına karşılık gelmektedir (Niinimäki ve ark., 2020). Ayakkabı üretiminde yaygın olarak tercih edilen petrol bazlı polimerler, sentetik tekstiller ve toksik kimyasallar içeren kompozit yapılar; üretim aşamasından bertaraf aşamasına kadar yüksek karbon ayak izi, su tüketimi ve kalıcı mikroplastik kirliliğine neden olmaktadır. Yapılan güncel aşınma simülasyonları, ayakkabı dış tabanlarının mekanik sürtünme nedeniyle kullanım sırasında çevreye doğrudan mikroplastik ve sentetik kauçuk parçacıkları saldıgını ve bu parçacıkların su ekosistemlerine karıştığını ortaya koymaktadır (Kole ve ark., 2017).

Son yıllarda ivme kazanan döngüsel ekonomi ve sürdürülebilir tasarım yaklaşımları, endüstriyi geleneksel doğrusal iş modellerinden, malzemelerin sistem içinde mümkün olan en uzun süre ve en yüksek değerle tutulduğu kapalı devre sistemlere geçmeye zorlamaktadır. Bu dönüşüm paralelinde, hayvansal deri üretimine ve petrol türevli sentetik derilere alternatif olabilecek yeni nesil malzeme arayışları hız kazanmıştır. Geleneksel hayvansal derinin işlendiği tabaklama süreçlerinde yaygın olarak kullanılan ağır metaller, arıtılmadığı takdirde su ekosistemlerinde geri dönülemez toksik kirliliğe ve akut su stresine yol açmaktadır (Sathish ve ark., 2019). Diğer taraftan, "vegan deri" adı altında pazarlanan sentetik poliüretan (PUR) ve polivinil klorür (PVC) alternatifleri ise fosil yakıt bağımlılığını sürdürmekte ve biyobozunur olmadıkları için atık yönetimi krizini derinleştirmektedir. Bu durum, biyoteknolojik ve tarımsal atık tabanlı çözümleri kaçınılmaz kılmaktadır. Tarımsal kaynaklı doğal liflerin dokunmamış (non-woven) yüzey teknolojileriyle ayakkabı bileşenlerine dönüştürülmesi, hem çevreye zararlı kimyasal süreçleri ve işçi sağlığı risklerini azaltmakta hem de döngüsel moda pazarı için yenilikçi araştırma fırsatları sunmaktadır (Asabuwa Ngwabebhoh ve ark., 2022).

Bu çalışma kapsamında, ayakkabı saya tasarımlarında geleneksel derilere sürdürülebilir alternatifler olarak ele alınan üç yenilikçi malzeme; farklı üretim yöntemlerini ve yapısal özelliklerini yansıtacak üç temel grubu temsil etmek üzere örnek olarak seçilmiştir. Literatürde yeni nesil alternatiflerin sunduğu farklı mühendislik yaklaşımlarını ve döngüsellik potansiyellerini bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirebilmek amacıyla (Meyer ve ark., 2021; Kefale ve ark., 2023), bu üç temel teknolojik sınıf ve örnek malzemeler şu şekildedir:

- **Kaktüs Derisi (Kaplama Kompozit Grubu):** Geleneksel tekstil üzerine uygulanan poliüretan matrisinin içine kaktüs tozu karıştırılarak elde edilen, fosil-biyobazlı hibrit bir kaplama yapısını ortaya koymaktadır.

- **Ananas Yaprağı Lifi (Dokunmamış Tarımsal Lif Grubu):** Tarımsal atık niteliğindeki ananas yaprağı liflerinin mekanik olarak birbirine bağlanması (non-woven) ve üzerinin ince polimer tabakasıyla örtülmesi esasına dayanan, yenilikçi bir atık geri kazanımı modelini yansıtmaktadır.
- **Miselyum (Doğal Olarak Yetiştirilen Tek Katman Grubu):** Tekstil desteği veya sentetik kaplama içermeyen, mantar liflerinin (hif/chitin) laboratuvar ortamında dikey olarak büyütülmesiyle oluşan %100 biyobazlı ve biyolojik olarak büyütülmüş saf bir modeli temsil etmektedir.

Literatürde bu malzemelerin çevresel avantajlarına sıklıkla değinilmekle birlikte, ayakkabı endüstrisinin gerektirdiği yüksek mekanik performans (aşınma, esneklik, yırtılma direnci) ve endüstriyel ölçeklenebilirlik kriterleri çerçevesinde bütüncül bir karşılaştırmalı analize ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda çalışmada, söz konusu üç biyobazlı malzemenin teknik, çevresel (LCA verileri ekseninde) ve endüstriyel uygulanabilirlik sınırları literatür verileri ışığında tartışılarak, tasarımcı ve üreticiler için stratejik bir karar matrisi sunulması amaçlanmaktadır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, ayakkabı tasarımında geleneksel derilere alternatif olarak önerilen üç yeni nesil biyobazlı malzemenin endüstriyel ve tasarımsal uygunluğunu değerlendirmek amacıyla Çok Kriterli Karar Verme yöntemi benimsenmiştir. Araştırma, doğrudan laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneysel veri bilgilerine dayanmamaktadır. Literatürde yer alan doğrulanmış kantitatif ve kalitatif deneysel çıktıların sistematik olarak incelenmesi, tasnif edilmesi ve matematiksel bir matriste modellenmesi esasına dayanan teorik ve metodolojik bir malzeme araştırması niteliğindedir.

Değerlendirme sürecinde malzemeler; ayakkabı saya üretim standartlarında kritik öneme sahip olan dört teknik performans kriteri (aşınma direnci, kopma/yırtılma mukavemeti, suya dayanıklılık, esneklik ve boyutsal kararlılık) ile üç endüstriyel, ekonomik ve çevresel kriter (LCA/Karbon ayak izini azaltma, seri üretime ölçeklenebilirlik, maliyet) olmak üzere toplam yedi temel parametre doğrultusunda incelenmiştir. Matriste kullanılan sayısal ve olgusal veriler, güncel akademik literatürdeki deneysel test sonuçlarından ve üretici firmaların resmi teknik dökümanlarından derlenerek optimize edilmiştir.

Karar matrisinde yer alan kriterlerin ağırlıklandırılmasında, karmaşık malzeme seçim süreçlerinde nesnelliği korumak amacıyla literatürde sıklıkla başvuru alan Eşit Ağırlıklandırma Yöntemi temelli bir yaklaşım benimsenmiştir (Odu, 2019; Ayan ve ark., 2023). Çok Kriterli Karar Verme yönteminde bileşenler arasındaki güvenilir farklar tahmin edilebildiğinde, doğrudan eşit ağırlıklandırma yerine alan bilgisine dayalı esnek ağırlıklandırma yaklaşımlarının daha yüksek performans gösterdiği bilinmektedir. Ayakkabı saya tasarımında malzemenin kullanım ömrü ve mekanik dayanıklılığı, ürünün erken aşamada atığa dönüşmesini engelleyerek net çevresel performansı doğrudan etkilediği için teknik ve çevresel parametrelerin matriste dengeli bir dağılıma sahip olması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, analizin nesnel zeminini korumak ve belirli bir performans kriteri lehine öznel bir eğilim oluşmasını engellemek adına; dört teknik performans kriteri ile LCA ve seri üretime ölçeklenebilirlik kriterlerinin her birine %15 oranında eşit stratejik ağırlık dağıtılmıştır.

Çalışmanın ekonomik uygulanabilirlik boyutunu temsil eden maliyet kriterinin ağırlığı ise modelin genel optimizasyon dengesini kuracak şekilde %10 olarak belirlenmiştir. Her bir malzemenin ilgili kriterdeki performansı, akademik literatürdeki doğrulanmış verilere dayanılarak 1 (Çok Zayıf) ile 5 (Çok İyi) arasındaki standart bir ölçekle skorlanmış ve ağırlıklı nihai toplam puanlar hesaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ayakkabı saya tasarımında geleneksel derilere alternatif olarak sunulan biyobazlı yapıların karakterizasyonu, üretimlerinde kullanılan ham madde bileşenlerine ve morfolojik mikroyapılarına doğrudan bağlıdır. Tekstil destek malzemesi (polyester) üzerine koagülasyon yöntemiyle kaplanmış köpüklü poliüretan matrisi içine kaktüs yaprağı tozunun dolgu maddesi olarak entegre edilmesiyle kaktüs derisi üretilmektedir (Meyer ve ark., 2021). Bu malzemenin biyobazlı dolgulu sentetik bir deri karakterinde olduğunu göstermektedir.

Dokunmamış ananas lifi, matrisinin polilaktik asit (PLA) ve eser miktarda poliüretan akrilat ile kaplanmasıyla oluşturulmuş bir hibrit yapıdır. Miselyum, hiçbir sentetik kaplama veya tekstil desteği içermeyen, mantar meyve gövdelerinden (*Phellinus ellipsoideus*) elde edilen tamamen saf, gözenekli ve doğal bir polisakkarit (kitin/selüloz) ağına sahiptir.

Ele alınan bu üç temel malzemenin ham madde bileşenleri ile ana lif yapılarına ait kimyasal ve mekanik temel parametreler, literatür verileri ışığında optimize edilerek Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Biyobazlı Deri Alternatiflerinin Temel Lif ve Bileşen Özellikleri

Malzeme	Başlıca Kimyasal Bileşenler (%)	Baskın Lif Yapısı / Matris Karakteri	Lif Çekme Dayanımı (MPa)	Nem Alımı (%)
Kaktüs	Poliüretan, Kaktüs Tozu, Polyester destek	Tekstil Üzeri Biyobazlı Polimer Kaplama	14 – 20,8 (Kumaş Destekli Matris)	Düşük (Hidrofobik Polimer Yüzey)
Ananas Yapraklı Lifi	Selüloz (%55-75), Hemiselüloz (%78-85), Lignin (%4-10)	Dokunmamış (Non-woven) Doğal Selüloz Lif Ağı	150 – 1600	Yüksek (Açık Gözenekli Doğal Lif)
Miselyum	Kitin, Glukan, Saf Polisakkaritler	Laboratuvarı Da Dikey Büyütülmüş Saf Hif Ağı	0,2 (Saf Hif Gövdesi)	Çok Yüksek (Yüksek Poroziteli Yapı)

Bu malzemelerin endüstriyel olarak saya üretimine dahil edilebilmesi için üretim yöntemlerinin ve nihai ürün özelliklerinin standardizasyonu kritik önem taşımaktadır. Üretim süreçleri ve bu süreçlerin nihai malzemeye kazandırdığı karakteristik özellikler Çizelge 2'de yer almaktadır.

Çizelge 2. İncelenen Biyobazlı Malzemelerin Üretim Yöntemleri ve Ürün Özellikleri

Malzeme	Ana Kaynak Malzemeler	Üretim Yöntemi	Yapısal Malzeme Özellikleri	Literatür Referansı
---------	-----------------------	----------------	-----------------------------	---------------------

Kaktüs	Kaktüs yaprakları (Opuntia ficus-indica)	Kaktüs tozunun sıvı poliüretan matrisine karıştırılması ve polyester kumaşa lamine edilmesi	Su geçirmez, yüksek aşınma dirençli, pürüzsüz yüzey formu	Meyer ve ark. (2021)
Ananas Yaprığı Lifi	Tarımsal atık ananas yaprakları	Lif ekstraksiyonu, mekanik iğneleme (non-woven) ve koruyucu PLA/PUR kaplama	Esnek, yüksek yırtılma dirençli, nefes alabilir hibrit yapı	Asabuwa Ngwabebhoh ve ark. (2022); Meyer ve ark. (2021)
Miselyum	Mantar hif yapıları ve lignoselülozik tarım altıkları	Laboratuvar veya dikey çiftlik ortamında kontrollü biyolojik büyüme	%100 biyobazlı, ultra hafif, yüksek nem transferli saf katman	Williams ve Merida, (2022); Meyer ve ark. (2021)

3.1. Teknik Performansların Karşılaştırmalı Değerlendirilmesi

Ayakkabı saya üretim hatlarının ihtiyaç duyduğu teknik parametrelerin ağırlıklandırılması esasına dayanan Çok Kriterli Karar Verme matrisi ve malzemelerin doğrulanmış nihai ağırlıklı puanları Çizelge 3'te sunulmaktadır.

Çizelge 3. Biyobazlı Deri Alternatiflerinin Karşılaştırmalı ÇKKV Performans Matrisi
(Ölçek: 1: Çok Zayıf, 2: Zayıf, 3: Orta, 4: İyi, 5: Çok İyi)

Değerlendirme Kriterleri	Kriter Ağırlığı	Kaktüs	Ananas Lifi	Miselyum	Referans (Doğal Deri)
Aşınma Direnci	%15	5	3	1	5
Kopma / Yırtılma Mukavemeti	%15	4	5	1	5
Suya Dayanıklılık (Hidrofobiklik)	%15	4	2	1	5
Esneklik ve Boyutsal Kararlılık	%15	5	4	2	5
Karbon Ayak İzini Azaltma (LCA)	%15	3	5	5	1
Seri Üretime Ölçeklenebilirlik	%15	5	4	1	5
Ekonomik Uygunluk (Maliyet Avantajı)	%10	4	3	1	3
TOPLAM (Ağırlıklı Puan)	%100	4,30	3,75	1,75	4,20

Çizelge 3 incelendiğinde, kaktüs derisi, endüstriyel ayakkabı saya üretimine en dengeli ve optimize uyum sağlayan yeni nesil malzeme olarak öne çıkmaktadır. Kaktüs derisinin özellikle

aşınma direnci, esneklik ve seri üretime ölçeklenebilirlik kriterlerinde yüksek performans göstermesi, malzemenin konvansiyonel kesim-dikim hatlarında fire vermeden işlenebilmesini doğrulamaktadır. Ancak, Meyer ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen Martindale aşınma ve Bally fleksometre testlerinde, kaktüs derisi ve benzeri PUR kaplı alternatiflerin yüzey filmlerinde çok ileri döngülerde mikro çatlaklar ve soyulmalar rapor edilmiştir.

Ananas lifi bazlı, selülozik lif yapısının getirdiği yüksek kopma ve yırtılma mukavemeti ve tarımsal atık optimizasyonuna dayalı üstün çevresel performansı ile ikinci sırada yer almaktadır. Esneme döngülerinde yüksek performans göstermekle birlikte (esneme dayanımı >150.000 döngü), gevşek dokunmamış yapısı nedeniyle yüksek su absorpsiyonuna sahiptir. Nihai skordaki en büyük kısıtı olan suya dayanıklılık parametresini aşmak adına, ayakkabının dış yüzey uygulamalarında ek koruyucu hidrofobik katmanlara ihtiyaç duymaktadır.

Miselyum bazlı deriler ise dikey tarım teknikleri sayesinde karbon ayak izini azaltma kriterinde en uygun olmasına rağmen, ciddi mekanik dayanım sınırlılıkları sergilemektedir. Meyer ve ark. (2021) fiziksel test çıktılarında miselyumun yırtılma direncinin (0,5 N/mm) ve çekme mukavemetinin (0,2 N/mm²), geleneksel saya derisinin (82,9 N/mm ve 39,5 N/mm²) ve ayakkabı endüstri standartlarının (ISO 20942, 2019) çok altında kaldığı görülmektedir. Lif yöneliminin yüzeye dik olması ve yapısında mukavemet artırıcı bir taşıyıcı katman bulunmaması, miselyum derilerin mukavemet, yüksek üretim maliyeti ve seri üretime ölçeklenebilirlik parametrelerinde en düşük skorları almasına neden olmuştur. Bu analiz, miselyum bazlı malzemelerin kitlesel üretime geçebilmesi için mekanik performanslarının doğal polimer emdirme veya kompozit takviye teknikleriyle geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Ayakkabı saya malzemesi performansları bütüncül olarak incelendiğinde, doğal derinin evrensel performans üstünlüğünü (özellikle dayanıklılık, yüksek nefes alabilirlik ve yumuşaklığı bir arada sunabilme kabiliyetini) biyobazlı taklitlerin henüz tam anlamıyla ve tutarlı bir biçimde eşleyemediği görülmektedir. Bununla birlikte, gelişmekte olan yeni nesil bakteriyel selüloz, fungal kitin ve aljinat tabanlı ileri biyokompozit sistemler, belirli laboratuvar mekanik testlerinde konvansiyonel ayakkabı kullanım standartlarına oldukça yaklaşan, hatta bazı yırtılma ve çekme mukavemeti parametrelerinde doğal deriyi aşan özgün sonuçlar ortaya koymaktadır (Zhang ve ark., 2024).

3.2. Endüstriyel Ölçeklenebilirlik, Maliyet ve Tasarım Kısıtları

Sürdürülebilir bir malzemenin tasarıma dahil edilebilmesi teknik başarısıyla birlikte tedarik zincirindeki sürekliliğine ve maliyetine de bağlıdır. Ananas yaprağı lifi ve kaktüs derisi, tekstil fabrikalarında standart rulo formunda işlenebildiği için mevcut kesim ve dikim makinelerine tam uyum sağlamaktadır. Bu durum, küresel markaların (Stella McCartney, Nike ve Hugo Boss) bu iki malzemeyi ticari koleksiyonlarına hızla entegre edebilmesini açıklamaktadır.

Miselyum derinin laboratuvar ortamlarında katmanlar halinde büyütülme zorunluluğu, homojen kalınlık elde etme kısıtları ve üretim sürelerinin uzunluğu malzemenin seri üretime ölçeklenebilirliğini ciddi derecede kısıtlamaktadır (Hildebrandt ve Thrän, 2020; Kefale ve ark., 2023). Nitekim, Bolt Threads firmasının geliştirdiği miselyum bazlı Mylo™ projesinin ticari

üretimini yüksek ölçeklenme maliyetleri nedeniyle durdurması bu yapısal darboğazı desteklemektedir (Kent, 2023).

Sürdürülebilir ayakkabı tasarımında geleneksel derilerin yerini alacak malzemelerin geliştirilmesi sadece bitkisel atıklarla sınırlı kalmamakta; kahverengi alglerden elde edilen aljinatların modifikasyonu ile üretilen biyolojik olarak parçalanabilir aljinat esaslı deriler de benzer veya üstün fiziksel özellikler sergileyebilmektedir (Quaratesi ve Badea, 2024). Biyobazlı deri alternatiflerinin teknik performans kısıtlarına rağmen, tasarım ve kullanıcı kabulü boyutunda umut verici bir eğilim mevcuttur. Yenilenebilir biyobazlı ham madde karışımları ve bitkisel liflerin kalıplanmasıyla üretilen ayakkabı prototiplerinin fonksiyonel olarak giyilebilir ve ergonomik açıdan kabul edilebilir olduğu deneysel olarak kanıtlanmıştır (Cao ve ark., 2014).

Güncel tasarım yaklaşımlarında ise konu bir adım öteye taşınarak bütüncül döngüsellik modellerine bağlanmıştır. Bu bağlamda, Choi ve Lee (2025) tarafından ortaya konan “Beşikten Beşiğe” ayakkabı tasarım modeli, biyolojik bazlı malzemelerden üretilen ayakkabıların sadece teknik başarısını değil, tüketicilerin bu yenilikçi tasarımlara yönelik algılarını, estetik beklentilerini ve pazar kabul düzeylerini ampirik olarak değerlendirmektedir. Araştırma sonuçları, çevre dostu bu ürünlerin kullanıcılar tarafından yüksek kabul gördüğünü, ancak kitlesel tüketici davranışlarında malzeme ömrü ve uzun dönem dayanıklılık algısının halen en kritik eşik olduğunu doğrulamaktadır (Nam ve Lee, 2024).

3.3. Ürün Ömrü ve Çevresel Etki

Ayakkabı endüstrisinde ham maddeden kaynaklı çevresel tehlikeleri ve üretim aşamalarındaki işçi sağlığı risklerini minimize etmek adına biyobazlı alternatiflere yönelmek güçlü bir stratejidir. Ancak bu alternatiflerin sağladığı ekolojik avantajlar doğrusal veya otomatik bir süreç değildir; üretim aşamalarındaki enerji yoğunluğu, kaplama matrislerinin petrokimyasal bağımlılığı (kaktüs derisindeki PUR veya ananas yaprağı lifindeki akrilat reçineler gibi) ve ham maddenin atık bazlı olup olmaması net çevresel profili tamamen değiştirmektedir. Hildebrandt ve Thrän (2020) tarafından yapılan LCA modellemeleri, döngüsel tasarım aşamasında verilecek malzeme mimarisi kararlarının en optimize ve en kötü biyobazlı senaryolar arasında %65 etki farkı yaratabildiğini kanıtlamaktadır. Bu noktada en kritik parametre ürünün kullanım ömrüdür. Tasarımda malzeme dayanıklılığı arttığında ve ürün daha seyrek değiştirildiğinde, üretim döngülerinin azalmasına bağlı olarak su kıtlığı ve küresel iklim etkilerinde %25 ile %70 arasında sistematik bir iyileşme elde edilmektedir (Hildebrandt & Thrän, 2020). Örneğin, plastik içeriği minimize edilmiş özel miselyum sistemleri (Reishi™ vb.) (Williams ve Merida, 2022), 2,76 kg CO₂ eşd./m² gibi son derece düşük bir karbon ayak iziyle sığır derisine kıyasla %80 ile %93 arasında toplam etki azalımı sağlayabilmektedir. Ancak bu performans tüm miselyum formlarına genellenemez; çünkü mekanik olarak zayıf olan ve erken aşamada atığa dönüşen biyobazlı yapılar, kısa ömürleri ve sık değiştirilmeleri nedeniyle uzun vadede çevreye dolaylı olarak daha fazla yük getirebilmektedir (Hildebrandt & Thrän, 2020). Bu durum, ham malzemenin saf sürdürülebilirliği ile endüstriyel finisaj teknikleri arasındaki sürdürülebilirlik iddiasını zayıflatabilen temel gerilimi ve akademik çelişkiyi doğrulamaktadır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ayakkabı endüstrisinde doğrusal üretim modellerinin terk edilerek döngüsel ekonomi ilkelerinin benimsenmesi, sadece bir malzeme değişimi değil, bütüncül bir sistem dönüşümüdür. Bu çalışma kapsamında teknik, çevresel ve endüstriyel parametreler doğrultusunda Çok Kriterli Karar Analizi ile incelenen yeni nesil biyobazlı deri alternatifleri (ananas yaprağı lifi, miselyum ve kaktüs derisi), geleneksel hayvansal ve petrol bazlı sentetik derilerin neden olduğu ekolojik tahribatın azaltılmasında önemli birer potansiyel sunmaktadır.

Çok kriterli karar analizi sonuçlarına göre; kaktüs derisi esneklik ve aşınma direnci gibi mekanik beklentileri üst düzeyde karşılarken, ananas yaprağı lifi yüksek yırtılma mukavemetiyle saya tasarımlarında yapısal bir avantaj sağlamaktadır. Her iki malzemenin rulo formunda tedarik edilebilmesi, mevcut endüstriyel kesim ve dikim altyapısına doğrudan adaptasyonlarını mümkün kılmaktadır. Buna karşın, en düşük karbon ayak izine sahip olan miselyum bazlı deriler; dikey büyüme süreçlerinin getirdiği geometrik kısıtlar, heterojen kalınlık yapısı ve montaj aşamalarındaki düşük mekanik mukavemeti nedeniyle henüz seri üretim ölçeğine tam anlamıyla ulaşamamış, laboratuvar aşamasında kalarak standardizasyon darboğazları yaşamıştır. Nihai tahlilde, endüstriyel geçişin önündeki ana darboğazlar; mekanik standardizasyon, aşınma/su direnci kısıtlarının aşılması ve ölçekleme süreçleri olarak öne çıkmaktadır.

Konvansiyonel hayvansal deri üretimi ve petrol türevli sentetik lamine (PUR/PVC) malzemelerin aksine, tarımsal doğal lifler ve yenilenebilir biyolojik matrisler yüksek bir biyolojik inovasyon potansiyeline sahiptir. Moda ve ayakkabı endüstrisi sürekli değişmekte, artan katı çevresel kaygılar ve işçi sağlığı riskleri sektörü daha sürdürülebilir malzemelere doğru itmektedir. Bu dinamik yapı, biyolojik kaynaklı ham maddelerin ayakkabı saya ve bileşenlerinde kullanımı üzerine yapılacak AR-GE çalışmaları için akademiye ve tasarımcılara geniş bir araştırma alanı sunmaktadır.

Malzemelerin teknik uygunluğunun ötesinde, bu sürdürülebilir dönüşümün pratik başarıya ulaşması kullanıcı algısı, giyilebilirlik ve kabul edilebilirliğin doğru yönetilmesine bağlıdır. Kullanıcı testleri, biyobazlı prototiplerin estetik ve konfor açısından yüksek bir kabul oranına sahip olduğunu gösterirken, gelecekteki tasarım stratejilerinin doğrusal ekonomiyi tamamen terk ederek Beşikten Beşiğe kapalı döngü modeline entegre edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu doğrultuda, ayakkabı tasarımcılarının malzeme seçim süreçlerinde çevre dostu etiketiyle birlikte ham madde ömrünün sonundaki döngüsellik senaryolarına ve üretim hattı uyumluluklarına da odaklanmaları gerekmektedir. Gelecek çalışmalarda, bu biyobazlı malzemelerin mekanik dayanımlarını artıracak tamamen doğal/organik yüzey kaplama (finishing) teknolojilerinin geliştirilmesi ve üretim maliyetlerinin düşürülmesine yönelik biyoteknolojik optimizasyonların yapılması, sürdürülebilir ayakkabı tasarımının kitlesel pazara yayılmasında anahtar rol oynayacaktır. Ayakkabı tasarımında yeni nesil biyobazlı deri alternatifleri çevresel performansta umut verici, teknik performansta ise uygulamaya göre seçici bir tablo çizmektedir. Geleceğin en güçlü ticari adayları; sadece nominal olarak biyobazlı içerik taşıyanlar değil; yeterli mekanik dayanıklılığı, düşük plastik kullanımını, düşük proses

enerjisini ve tarımsal atık beslemeli üretim yollarını bütünsel bir ürün yaşam döngüsü ve kullanıcı kabulüyle birleştirebilen bütüncül sistemler olacaktır.

KAYNAKÇA

- Asabuwa Ngwabebhoh, F., Saha, N., Saha, T., & Saha, P. (2022). *Biological innovation of next-generation nonwoven natural fiber materials for footwear industry: Current state and sustainability panorama*. Journal of Natural Fibers, 19(13), 4897–4907. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1870635>
- Ayan, B., Abacıoğlu, S., & Basílio, M. P. (2023). A Comprehensive Review of the Novel Weighting Methods for Multi-Criteria Decision-Making. *Inf.*, 14, 285. <https://doi.org/10.3390/info14050285>
- Cao, H., Hegland, J., & Chang, W. (2014). *Development and evaluation of apparel and footwear made from renewable bio-based materials*. Journal of the Textile Institute, 105(8), 815-827. <https://doi.org/10.1080/17543266.2013.859744>
- Choi, Y., & Lee, J. (2025). *Cradle-to-Cradle footwear design model: Bio-based shoes and consumers' perceptions and acceptance*. Journal of Fashion Design and Technology, 18(1), 45-58. <https://doi.org/10.1080/17569370.2025.2523014>
- Hildebrandt, J., & Thrän, D. (2020). *The circularity of potential biotextile production—A life cycle assessment of selected leather substitutes*. Journal of Cleaner Production, 267, 122116. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122116>
- ISO 20942 (2019). *Footwear — Chemical tests — Guidelines for the determination of substances in footwear and footwear components*. International Organization for Standardization.
- Kefale, G. Y., Kebede, Z., & Birlie, A. A. (2023). *A Systematic Review on Potential Bio-Leather Substitutes as Sustainable Alternatives to Natural Leather*. Engineering Journal, 2023, 1-18. <https://doi.org/10.1155/2023/1629174>
- Kent, S. (2023). *Bolt Threads Pauses Operations of Leather-Alternative Mylo*, Business of Fashion. <https://www.businessoffashion.com/news/sustainability/bolt-threads-mylo-alternative-leather-mushroom-pause-operations/>
- Kole, D. V., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G., & Ragas, A. M. (2017). *Wear and tear of tyres: a stealthy source of microplastics in the environment*. International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(10), 1265.
- Meyer, M., Dietrich, S., Schulz, H., & Mondschein, A. (2021). *Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial Leather, and Trendy Alternatives*. Coatings, 11(2), 226. <https://doi.org/10.3390/coatings11020226>
- Nam, K., & Lee, Y. (2024). *Bacterial cellulose multi-layered materials: Kinematic and kinetic performance under user tests compared to commercial leather*. Textile Research Journal, 94(5), 612-625.

- Niinimäki, K., Peters, G., Dahlbo, H., Perry, P., Rissanen, T., & Gwilt, A. (2020). *The environmental price of fast fashion*. Nature Reviews Earth & Environment, 1(4), 189-200.
- Odu, G. (2019). Weighting methods for multi-criteria decision making technique. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. <https://doi.org/10.4314/jasem.v23i8.7>
- Quaratesi, S., & Badea, M. (2024). *Eco-friendly alternatives in leather production: Performance of biodegradable alginate-based retanned leather compared to traditional leathers and plant-based materials*. Journal of Leather Science and Engineering, 6(1), 12-25. <https://doi.org/10.1186/s42825-024-00156-z>
- Sathish, M., Madhan, B., & Rao, J. R. (2019). *Leather processing: An eco-friendly alternative approach using bio-based materials*. Journal of Cleaner Production, 212, 1481-1492.
- Williams, G., & Merida, A. (2022). *Environmental impact of low-plastic mycelium materials: Life cycle assessment of Reishi™*. Environmental Science & Technology, 56(8), 5102-5114.
- World Footwear. (2025). *World footwear yearbook 2025*. APICCAPS. worldfootwear.com
- Zhang, F., Fu, G., Liu, H., Wang, C., Zhou, J., Ngai, T., & Lin, W. (2024). Sustainable leather alternatives: High-performance and dyeable bio-based materials from fungal chitin and tannic acid. *Carbohydrate polymers*, 348 Pt A, 122800. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2024.122800>

**INFLUENCE OF THREE DEEP EUTECTIC SOLVENT SYSTEMS ON THE
PHENOLIC AND FLAVONOID CONTENTS, ANTIOXIDANT AND
ANTIBACTERIAL ACTIVITIES OF *SINAPIS ALBA* FLOWER EXTRACTS**

Türkan AKDOĞAN

Manisa Celal Bayar University

turkannakdgnn@gmail.com - 0009-0007-7901-1691

Ayşe UTNİ

Manisa Celal Bayar University

ayseutni@gmail.com - 0009-0007-6738-786X

Hilal Naz ARAZ

Manisa Celal Bayar University

hilalnaz.araz@gmail.com - 0009-0006-8196-489X

Res. Asst. Dr. Ayşegül İNAM*

Manisa Celal Bayar University

aysegul.inam@cbu.edu.tr - 0000-0002-9411-1232

ABSTRACT

For many years, plants that grow naturally in the wild have been used both traditionally and medicinally in the treatment of various diseases due to the bioactive compounds and different activities they contain. *Sinapis alba*, known as white mustard plant, even above-ground parts, seeds or oil, have been used in a variety of sectors including agriculture, food, medicine, culinary arts and phytoremediation. Traditional extraction methods of plants using organic solvents have several limitations. Therefore, novel generation green solvent systems have gained popularity these days. Deep eutectic solvents (DESs) which have numerous combinations, are preferred in plant biomass extractions due to their various benefits. In this study, three choline chloride-based DES systems (CCA, CCG and CCU) were used in the extraction of *S. alba* flowers with an ultrasound-assisted method. Total phenolic and total flavonoid contents were evaluated through Folin-Ciocalteu and aluminum-chloride colorimetric methods, respectively. Antioxidant effects of the extracts were assessed by DPPH and CUPRAC methods, while antibacterial activities were obtained through disk diffusion and MIC methods against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. In the results, the highest total phenolic content was obtained in the CCA-extract as 1.436 ± 0.07 mg GAE/g, while the highest total flavonoid content was calculated in the CCG-extract as 0.236 ± 0.06 mg CE/g. DPPH radical scavenging activity was highest in the CCG-extract ($IC_{50} = 88.85 \pm 4.44$ mg/mL), while CUPRAC activity was highest in the CCA-extract (1.354 ± 0.02 mg TE/g). CCA-extract was the most successful in antibacterial activity tests. These findings provide valuable comparative insights for the application of DES-based extraction for bioactive compounds.

Keywords: *Sinapis alba*, deep eutectic solvents, phenolics, flavonoids, antioxidant activity, antibacterial activity

1. INTRODUCTION

Sinapis alba, also known as white mustard, is an annual herbaceous plant which generally reaches a height of 30–60 cm. It has an erect and highly branched stem, with alternately arranged, sparsely distributed leaves that have lobed or serrated margins and short white hairs along the veins. Its pale-yellow flowers are arranged in clusters and show the characteristic cruciform structure of the Brassicaceae family. Flowering generally occurs from June to August, and the plant produces spherical, dark reddish-brown seeds (Brodzikowska et al., 2026; Gıdık & Önemli, 2019). In addition to its use as a condiment and oilseed crop, *S. alba* may also help control certain agricultural pests. Its yellow flowers are also valuable for beekeeping (Gıdık & Önemli, 2019). Owing to its broad geographical adaptability, *S. alba* occurs in different regions as both a cultivated crop and a spontaneous species. Its diverse agricultural uses include food seasoning, oil production, livestock feeding, soil improvement through green manuring, and biofuel production (Mitrović et al., 2020; Kayaçetin, 2020). *S. alba* oil contains a lot of oleic acid (22%), and very high amounts of linolenic acid (9–15%). They are widely applied in food-flavoring agents and also in herbal medicine for diabetes, arthritis, cough, sore throat and cough (Aboulthana et al., 2025). These seeds contain glucosinolates, the compounds responsible for the sharp and bitter taste of mustard (Polat Köse, 2025). Bioactive compounds in the plants can enhance the functional properties of products and influence various biological processes. Many fields that are becoming more and more important include functional foods, nutritional supplements, pharmaceutical products, and other natural products (Şahin et al., 2026). The *Sinapis* genus consists of annual herbaceous species classified under Brassicaceae family, commonly grown in temperate areas of Asia and Europe (Rahman et al., 2018). Mustard is one of the oldest known spices in history, with documented use dating back to around 3000 BC. The mustard plant is known for its rich nutritional content, with a phytochemical profile containing glucosinolates and phenolic compounds (Polat Köse, 2025). Also, they are resistant to heat and drought, making them suitable for cultivation in drier soil regions (Mitrović et al., 2020). Investigations have proved that mustard seeds are a rich natural resource of bioactive contents with important healing potential. Therefore, mustard could be preferred as a raw material with antimicrobial, anti-inflammatory, immune-modulatory and also anticancer activities. *S. alba* contains many bioactive compounds, consisting of glucosinolates, phenolic acids and flavonoids, which contribute to its antioxidant effects. Glucosinolates and their bioactive degradation products may also contribute to the antimicrobial properties of the plant (Khatib & Al-Makky, 2021; Aboulthana et al., 2025). Phenolic constituents are secondary metabolites with hydroxyl groups bounding to one or more aromatic rings and have a key role in defending plants against biotic and abiotic stress (Rahman et al., 2024). Flavonoids are essential plant secondary biometabolites of polyphenolics with a polyphenolic structure. Phenolic acids and flavonoids may have antioxidant properties by neutralizing free radicals, binding metal ions and protecting antioxidant defense systems. Their antioxidant activity depends on their molecular structure and number of free hydroxyl groups (Ghasemzadeh & Ghasemzadeh, 2011). Free radicals negatively affect living organisms. Antioxidants are used

to reduce these harmful effects by neutralizing free radicals in biological cells. Many studies have shown that antioxidants have an important role in the protection of human health and in the treatment of diseases by reducing oxidative stress (Munteanu & Apetrei, 2021). The DPPH free radical scavenging method is one of the most widespread methods for evaluating antioxidant activity. It is based on the fact that antioxidant compounds in the extract react with the stable DPPH free radical. The antioxidants in the extract are responsible for reducing the purple-colored DPPH radical to the yellow-colored DPPH-H form by donating hydrogen atoms to the DPPH radical (Demir et al., 2024). In addition to radical scavenging assays such as the DPPH assay, the CUPRAC assay developed in the early 2000s is also used to determine total antioxidant capacity. This assay measures antioxidant property based on the reduction of copper ions from Cu^{2+} to Cu^{+} , and various versions of the method have been developed (Munteanu & Apetrei, 2021). Polyphenols and flavonoids are important plant-derived bioactive compounds that can act as free radical scavengers and delay lipid autoxidation, thereby limiting the progression of oxidative chain reactions (Vergun et al., 2019). Therefore, the quantification of total phenolic and flavonoid constituents is important for assessing the antioxidant potential of *S. alba* extracts. In order to analyze the bioactive compounds in plant materials and evaluate them for various applications, these compounds must be extracted from the complex plant matrix into a suitable solvent (Şahin et al., 2026). Studies have shown that extraction yield and the chemical profile of the extracted material are influenced by numerous parameters, including solvent polarity, the molecular structure of the target compounds, the solid-to-liquid ratio, temperature, extraction time, particle size, and extraction technique (Rente et al., 2021). Ultrasound-assisted extraction offers numerous advantages in terms of safety, time and energy consumption, environmental risks, and toxicology. Ultrasonication breaks down biomass, accelerates diffusion, increases overall mass transfer, and provides high efficiency (Mitrović et al., 2020). Conventional extraction methods commonly use organic solvents such as ethanol, methanol, ethyl acetate, and acetone. Volatile organic solvents applied in traditional extraction methods present problems such as toxicity, energy consumption, environmental impact, and selectivity (Şahin et al., 2026). Some volatile organic compounds may have toxic, carcinogenic, or mutagenic effects, and prolonged exposure to these compounds can cause eye and skin irritation, reproductive hazards, and respiratory problems (Prabhune & Dey, 2023). These disadvantages have led to a search for alternative solvent systems that can improve extraction efficiency. Deep eutectic solvents (DESs) are selected for their low toxicity, ease of preparation, eco-friendliness, biodegradability, tunable properties, and low cost (Şahin et al., 2026; Suthar, 2025). DES systems belong to the category of green solvents that typically including a hydrogen bond donor (HBD) and a hydrogen bond acceptor (HBA) (Suthar, 2025). DESs are made from two or more chemicals that form a eutectic mixture through hydrogen bonding; these mixtures have melting points lower than those of their separate constituents (Prabhune & Dey, 2023). The different chemical properties of these components may affect the polarity, viscosity, and extraction performance of the resulting DES systems (Rente et al., 2021). DESs can be used to extract certain compounds with higher efficiency, which can enhance the biological activity and stability of the extracts compared with traditional solvents (Serna-Vázquez et al., 2021). In studies conducted on various plant matrices, DES-based extracts have been reported to exhibit antimicrobial property against pathogenic bacteria such as *Escherichia coli* and *Staphylococcus*

aureus. These findings indicate that DES-based extraction, depending on the plant material and solvent composition, may contribute not only to extraction performance but also to the bioactivity of the resulting extracts (Çolak et al., 2025). The viscosity of DESs could be adjusted by adding water. Water addition decreases viscosity and increases the polarity of the solvent, which may be beneficial for the extraction of compounds depending on their polarity. Low-viscosity DESs also improve the dissolution of target compounds, increase the mass transfer velocity between the sample and the solvent, and enhance extraction performance (Serna-Vázquez et al., 2021; Ling & Hadinoto, 2022). However, the addition of excessive water amounts can attenuate the intermolecular interactions among DES components, leading to the disruption of the DES molecular structure (Serna-Vázquez et al., 2021).

In this study, three DES formulations containing choline chloride were employed to extract bioactive constituents from *S. alba* flowers. Choline chloride was utilized as the hydrogen bond acceptor, whereas acetic acid, glycerol, and urea were utilized as hydrogen bond donors. The total phenolic and flavonoid constituents of the extracts were compared using spectrophotometric analyses. Their radical-scavenging activities were evaluated through the DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) and CUPRAC (cupric ion reducing antioxidant capacity) assays. The antibacterial properties of the *S. alba* flower extracts were determined by disk diffusion and MIC (minimum inhibitory concentration) tests against the Gram-positive bacterium *S. aureus* and the Gram-negative bacterium *E. coli*.

2. MATERIAL METHODS

2.1. Preparation of Deep Eutectic Solvents

Three deep eutectic solvent formulations, designated as CCA, CCG, and CCU, were produced by pairing choline chloride with acetic acid, glycerol, and urea, respectively. For each formulation, the components were combined at a choline chloride-to-hydrogen bond donor molar ratio of 1:2. Choline chloride functioned as the hydrogen bond acceptor, whereas the other components functioned as hydrogen bond donors. Each mixture was maintained at 80 °C for approximately 1.5 hours until a transparent and homogeneous broth was formed (Kamiloğlu et al., 2025).

2.2. Extraction of Plant Materials

Sinapis alba plants collected from rural areas of Izmir in April, during the plant's flowering period. The collected plant samples were examined according to their morphological characteristics, and the identification was carried out by Prof. Dr. Levent Şık. The flowers were isolated and dried under shaded conditions at room temperature. These dried flowers were then pulverized with a commercial grinder and kept in resealable bags. For DESs, a plant-to-solvent ratio of 1:30 g/mL was applied, and extraction was performed for 75 minutes under ultrasonic parameters of 60 °C and 200 W. To eliminate viscosity issues during extraction, 30% distilled water were added to all solvents (Kamiloğlu et al., 2025). Ultrasound-assisted extraction represents a well-established yet economical technique that has garnered increasing attention in recent years; therefore, this method was preferred (Liu et al., 2024).

2.3. Determination of Total Phenolic Contents

To quantify the total phenolic amounts, 20 µL of extract was combined with 1.58 mL of pure water, 300 µL of a 20% sodium carbonate solution, and 100 µL of Folin–Ciocalteu reagent. After mixing, the samples were incubated for 45 minutes under dark conditions at room temperature, and absorbance values were read at 765 nm. Total phenolic amounts were calculated based on a gallic acid standard curve prepared in ethanol across a concentration interval of 0–3000 mg/L. The results were evaluated as gallic acid equivalents (mg GAE/g dry plant) obtained from three parallel analyses (Khatib and Al-Makky, 2021).

2.4. Determination of Total Flavonoid Contents

The total flavonoid content was evaluated on a 96-well plate using the aluminum chloride assay. First, 25 µL of the extract, 100 µL of pure water, and 7 µL of 5% NaNO₂ were combined. Following incubation under dark conditions at room temperature for 5 minutes, 7 µL of 10% AlCl₃ was introduced into the mixture, and incubation was continued for another 5 minutes. Finally, 50 µL of 1 M NaOH and 60 µL of pure water were incorporated, and the mixture absorbance values were obtained at 490 nm with a microplate reader. The flavonoid concentrations in the test samples were obtained from the calibration curve, and the results were reported as mg catechin equivalent (mg CE/g dry plant) (Krishnaveni and Saranya, 2016; Eroglu, 2025).

2.5. Antioxidant Activities

The radical-scavenging capacities of flower extracts were evaluated by the DPPH assay, firstly. For each extract concentration, 300 µL was combined with 3 mL of an ethanolic DPPH solution at a concentration of 45 µg/mL. After mixing, the samples were kept under dark conditions for 30 minutes, and absorbance values were recorded at 518 nm. The results were reported as the IC₅₀ (the concentration that inhibits half of the free radicals). Activity was determined according to the following equation (Khatib and Al-Makky, 2021):

$$\text{DPPH radical inhibition (\%)} = [(A_{\text{control}} - A_{\text{sample}}) / A_{\text{control}}] \times 100.$$

A_{control}: Absorbance value of the control solution (ethanol + DPPH)

A_{sample}: Absorbance value of the extract-containing sample (extract + DPPH)

Another method used to determine antioxidant activity is the “Copper Antioxidant Reducing Power” (CUPRAC). In this method, the copper (II)–neocuproine [Cu (II)-Nc] reagent functions as a chromogenic oxidant, and the ability of polyphenols to reduce copper (II) ions is quantified. A volume of 100 µL of extract was combined with 1 mL of 0.01 M CuCl₂, 1 mL of neocuproine, 1 mL of 1 M NH₄Ac, and 1 mL of pure water. Following incubation of the solutions for 30 minutes at room temperature, absorbance was recorded at 450 nm. A Trolox-based calibration curve was prepared, and the results were reported as milligrams of Trolox equivalents (mg TE/g dry plant) (Benoussar et al., 2026; Apak et al., 2004).

2.6. Antibacterial Activities

The antibacterial activities of *S. alba* plant extracts were assessed by the disk diffusion and minimum inhibitory concentration (MIC) assays. During these activity studies, *Staphylococcus aureus* was used as a Gram-positive bacterium, and *Escherichia coli* as a representative Gram-negative bacterium. For disk diffusion analysis, Mueller-Hinton agar was prepared as the culture medium. The microorganisms were maintained at 37 °C for 18 hours, and following spectrophotometric measurements, they were diluted and inoculated onto the agar plates. Extracts at different concentrations were impregnated onto sterile antibacterial disks; DESs served as the negative control, whereas gentamicin served as the positive control. The Petri dishes were incubated overnight at 37 °C, after which the inhibition-zone diameters were recorded.

In the MIC assay, 96-well microplates and Mueller-Hinton Broth medium were used. Volumes of 200 µL from each extract and control were added to the first row of the plates, and dilutions were made with the culture medium. Subsequently, a 100 µL volume of the cell suspension, prepared by spectrophotometric measurements, was introduced into every well, followed by overnight incubation at 37 °C. Microbial growth was evaluated visually and spectrophotometrically, and the MIC values were established (MuthuKathija et al., 2023; Kozłowska et al., 2022).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Phenolic Content Determination

Dried *Sinapis alba* flowers were extracted using deep eutectic solvents in which choline chloride functions as the hydrogen bond acceptor, whereas acetic acid, glycerol, and urea function as hydrogen bond donors named as CCA, CCG and CCU. Using the Folin–Ciocalteu method, the overall phenolic compound varied among the three DES formulations based on 1:2 molar ratio. The maximum value was recorded in CCA at 1.436 ± 0.07 mg GAE/g dry plant, followed by 0.840 ± 0.06 mg GAE/g dry plant in CCU, and 0.378 ± 0.07 mg GAE/g dry plant in CCG, as presented in Table 1. These findings suggest that the hydrogen-bond donor and physicochemical characteristics of each DES may affect phenolic compound recovery. The reason CCA provides the highest phenolic extraction may be due to its acidic nature. Acidic DESs can facilitate the breakdown of plant cell walls, increasing the movement of phenolic contents from the plant matrix to the solvent. Urea-based DES systems, capable of forming strong hydrogen bonds, may effectively extract phenolic compounds.

Table 1. Phenolic content amounts

DES extracts	mg GAE/g dry plant
ChCl: acetic acid (1:2)	1.436 ± 0.07
ChCl: glycerol (1:2)	0.378 ± 0.07
ChCl: urea (1:2)	0.840 ± 0.06

Pontes et al. (2021) reported that, under their optimized extraction conditions, the ChCl: acetic acid system extracted 15% more phenolic contents from olive leaves than ethanol, based on UHPLC-MS analysis. The same study also showed that ChCl: acetic acid had the lowest viscosity among the tested carboxylic acid-based DESs and produced the highest phenolic compound recovery. These findings support the potential of ChCl: acetic acid for phenolic extraction. However, because the physicochemical properties of the DES systems were not measured in the present study, the reason for the higher phenolic content obtained with ChCl: acetic acid cannot be confirmed (Pontes et al., 2021). In a research, the total phenolic content was reported as 28.302 mg GAE/g dry plant for the methanolic flower extract of *S. alba* and 1.596 mg GAE/g dry plant for the chloroform fruit extract of *S. alba* (Khatib and Al-Makky, 2021). Polat Köse (2025) reported total phenolic content values of 28.82 and 25.29 mg GAE/g extract, respectively, in aqueous and ethanolic extracts prepared from *S. alba* seeds. These values were higher than those obtained in this study. However, since the researchers used seed extracts while this study used flower extracts, the results cannot be directly compared. Differences in plant part, extraction solvent, geographic origin, extraction conditions, and calculation methods may explain the discrepancies between the results (Polat Köse, 2025).

3.2. Flavonoid Content Determination

In this study, where ultrasonic-assisted extraction was performed, the total amount of flavonoid contents was obtained using the aluminum chloride-based colorimetric assay. Based on the experimental results, the total flavonoid levels in CCA, CCG, and CCU extracts were calculated as 0.144 ± 0.14 , 0.236 ± 0.06 , and 0.149 ± 0.10 mg CE/g dry plant, in the same order (Table 2). A notable finding of the present study was that the greatest flavonoid content was obtained in the CCG system. Flavonoids belong to a subclass of phenolic compounds, and their quantities may not always be consistent. DES may have selectively extracted different phenolic classes due to its different chemical structure.

Table 2. Flavonoid content amounts

DES extracts	mg CE/g dry plant
ChCl: acetic acid (1:2)	0.144 ± 0.14
ChCl: glycerol (1:2)	0.236 ± 0.06
ChCl: urea (1:2)	0.149 ± 0.10

Erdem et al. (2025) similarly reported that the ChCl: glycerol system is among those that yield the highest total flavonoid content in walnut shell extracts. Furthermore, Rashid et al. (2023) reported that the ChCl: glycerol DES at a 1:2 ratio, combined with ultrasound-assisted extraction, performed better than traditional solvents in recovering bioactive compounds from apple pomace. Although different plant materials were used, these findings indicate the suitability of ChCl: glycerol for recovering plant flavonoids (Rashid et al., 2023). However, specific flavonoid compounds in the current extracts have not been identified. Therefore, the

higher average total flavonoid content value cannot be attributed to a specific molecular interaction or flavonoid compound. Polat Köse (2025) reported that the total flavonoid amounts of the water and ethanol extracts of *S. alba* seeds were calculated as 28.36 and 24.91 µg quercetin equivalents/mg, respectively (Polat Köse, 2025). In another study, the flavonoid content of *S. alba* was reported to vary between 2.072 mg quercetin equivalents/g dry plant in the methanolic flower extract and 0.446 mg quercetin equivalents/g dry plant in the chloroform fruit extract (Khatib and Al-Makky, 2021). In addition to this, a similar study reported that the investigated *S. alba* leaf extracts contained 73.58 mg GAE/g total polyphenols, 9.15 mg caffeic acid equivalent/g total phenolic acids, and 62.91 mg quercetin equivalent/g total flavonoids (Vergun et al., 2019). Overall, polyphenols comprise a broad class of compounds that includes phenolic acids and flavonoids.

3.3. Antioxidant Activities

The antioxidant potential of *Sinapis alba* DES extracts was primarily determined by the DPPH method, while the results were converted to percentage inhibition. The IC₅₀ values for the extracts were calculated from the percentage inhibition amounts obtained at different concentrations. For the CCA, CCG, and CCU extracts, the IC₅₀ values were found to be 170 ± 8.5, 88.85 ± 4.44 and 1391 ± 69.55 mg/mL within the studied concentration range (Figure 1). According to the DPPH radical scavenging test, the lowest IC₅₀ value of CCG extract revealed that this extract possesses the strongest antioxidant activity among them. Antioxidant activity depends on both the total phenolic contents and the composition and structural characteristics. The high flavonoid content in CCG extract may be related to its function as a powerful free radical scavenger.

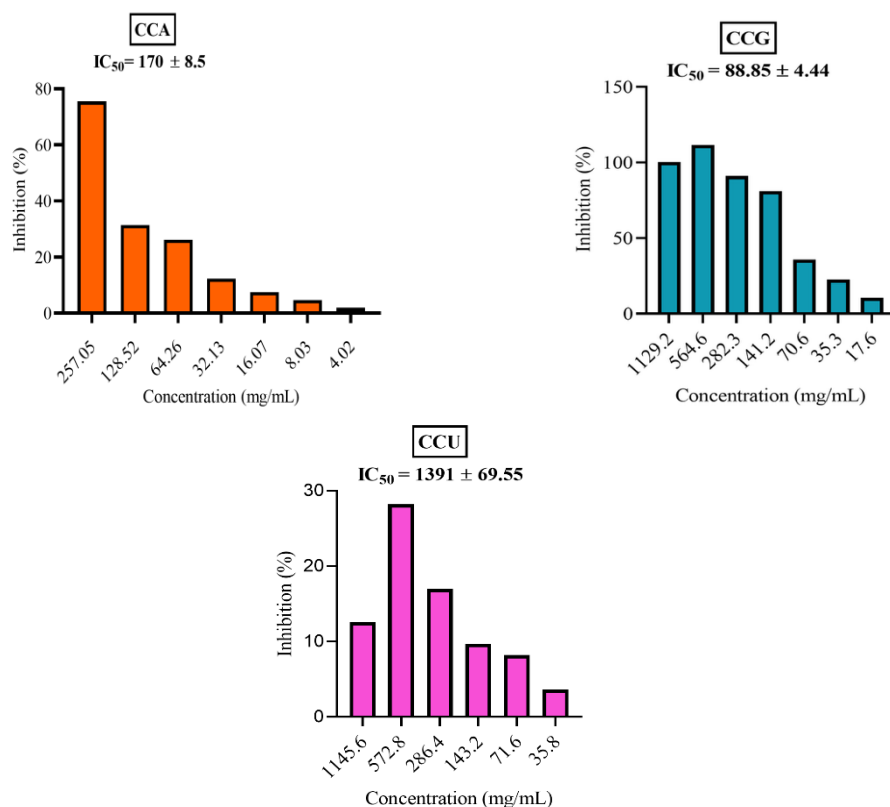


Figure 1. IC₅₀ values of the extracts

In one study, aqueous and ethanolic extracts were prepared from *S. alba* seeds, and the IC₅₀ values were calculated as 1119 and 1285 µg/mL, respectively, according to the DPPH method (Polat Köse, 2025). According to another study, the determination of antioxidant activity of ethanolic *S. alba* leaves extract using the DPPH method yielded 7.15 mg TE/g, and by phosphomolybdenum method was 148.43 mg TE/g (Vergun et al., 2019).

Another antioxidant activities detected in our study were determined using the CUPRAC method. According to this method, the antioxidant activities of CCA, CCG, and CCU extracts were calculated as 1.354 ± 0.02 , 1.256 ± 0.02 , and 0.379 ± 0.02 mg TE/g dry plant, respectively (Table 3). Since CCA has the highest phenolic content, it may have also shown the highest capacity to reduce Cu²⁺ ions into Cu⁺ during the CUPRAC assay. The difference observed between the two antioxidant tests may be due to different reaction mechanisms.

Table 3. Antioxidant activity based on CUPRAC

DES extracts	mg TE/g dry plant
ChCl: acetic acid (1:2)	1.354 ± 0.02
ChCl: glycerol (1:2)	1.256 ± 0.02
ChCl: urea (1:2)	0.379 ± 0.02

Boscaro et al. (2018) found that the *S. alba* seed extract prepared with an ethanol: water mixture (8:2) exhibited the strongest DPPH activity, with an IC₅₀ value of 56.6 ± 4.6 µg/mL and 278.1 ± 22.6 µmol TE/g extract. In contrast, the *S. alba* leaf extract showed much weaker activity. These findings suggest that antioxidant activity may vary according to the plant part and the solvent used for extraction and may be related mainly to phenolic compounds such as sinapine (Boscaro et al., 2018).

DES compounds have contributed substantially to the selective recovery of bioactive compounds. CCA exhibits the greatest total phenolic compound together with the highest CUPRAC antioxidant capacity, while CCG exhibits the greatest total flavonoid content and DPPH radical-scavenging activity. Therefore, through the selection of an appropriate DES according to the targeted phytochemicals and biological activities, extraction efficiency can be increased.

3.4. Antibacterial Activities

The antibacterial effects of DES extracts obtained from *Sinapis alba* flowers were evaluated against *Staphylococcus aureus*, representing a Gram-positive bacterium, and *Escherichia coli*, representing a Gram-negative bacterium, using the agar disk assay and also MIC tests. According to the disk diffusion test, antibacterial activity was obtained only in the CCA extract due to the acidic nature. The inhibition zone diameters were similar to those of Gentamicin as

the positive control whose concentration was 1 mg/mL. The zone diameter measured against *S. aureus* was 2.3 cm, while against *E. coli* a zone diameter of 2.5 cm was detected (Table 4).

Table 4. Inhibition zone diameters (cm)

DES extracts	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
ChCl: acetic acid (1:2)	2.3 ± 0.1	2.5 ± 0.1
ChCl: glycerol (1:2)	0	0
ChCl: urea (1:2)	0	0
Gentamicin	2.3 ± 0.03	2.5 ± 0.06

Boscaro et al. (2018) found that extracts prepared from *S. alba* and *S. nigra* seeds using ethanol: water at an 8:2 ratio showed antimicrobial activity against all investigated microorganisms, with inhibition zones ranging from 8 to 22.7 mm at 20 mg/mL. The strongest effects were observed against *E. coli* for *S. alba* and *S. aureus* for *S. nigra*, and DMSO had no antimicrobial activity. In general, *S. nigra* exhibited stronger activity than *S. alba* except against *E. coli* (Boscaro et al., 2018).

In the MIC test, CCA was identified as the DES extract exhibiting the strongest antibacterial activity, with an MIC value of 8.03 mg/mL for both bacterial strains. After that, CCG showed MIC values of 35.29 and 70.58 mg/mL for *S. aureus* and *E. coli*, respectively. The lowest antibacterial activity was observed for CCU extract, with MIC values of 143.2 and 572.8 mg/mL (Table 5). Therefore, the CCA system may have promoted the dissolution and extraction of antibacterial compounds more effectively than the CCG and CCU systems.

Table 5. MIC values (mg/mL)

DES extracts	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
ChCl: acetic acid (1:2)	8.03	8.03
ChCl: glycerol (1:2)	35.29	70.58
ChCl: urea (1:2)	143.2	572.8

In a study, the plant of *S. alba* exhibits antibacterial activity against *S. aureus* but has not demonstrated significant activity against *E. coli* and *Pseudomonas aeruginosa* (Khatib and Al-Makky, 2021). Camacho Carrillo et al. (2019) reported no inhibitory effect against *E. coli* in *S. alba* extracts prepared using ethanol, dichloromethane, and petroleum ether. However, the pronounced antibacterial effect observed in the CCA extract in this study suggests that solvent

selection may affect the antibacterial characteristics of the resulting extract. The antibacterial activity of *S. alba* has been associated with glucosinolates and their degradation products, such as isothiocyanates, formed during hydrolysis. The formation and properties of these compounds may differ according to glucosinolate type and hydrolysis conditions (Camacho Carrillo et al., 2019).

Gram-negative bacteria commonly show lower susceptibility to antimicrobial compounds of plant origin because the lipopolysaccharide-containing external membrane can restrict the passage of hydrophobic substances. Nevertheless, this does not imply that Gram-positive bacteria consistently exhibit greater sensitivity (Singh et al., 2017; Camacho Carrillo et al., 2019). In this present study, the CCA extract produced a larger inhibition zone against *E. coli* than against *S. aureus*. This finding differs from the general resistance pattern of Gram-negative bacteria and suggests that antibacterial activity may depend not only on bacterial cell wall structure but also on the solvent system, extraction conditions, chemical composition of the extract, and diffusion of the active compounds through the agar.

4. CONCLUSIONS

Sinapis alba, a type of mustard, has high potential for the utilization of its metabolites due to its wide geographical distribution and long history. On the other hand, due to the limitations of traditional solvent systems used in plant extraction, DESs, which are sustainable and environmentally friendly, have been developed as an alternative. In this study, DES formulations containing choline chloride were prepared for the extraction of *S. alba* flowers. Ultrasound-assisted extraction was used to improve the interaction between the DES systems and the plant material. Total phenolic and flavonoid contents, together with antioxidant and antibacterial properties, were detected in a comparative way. Among the three DES systems, CCA provided the highest phenolic level and CUPRAC reducing capacity, while CCG demonstrated the greatest flavonoid level together with the most pronounced DPPH radical-scavenging activity. This highlights the need to choose a suitable DES system according to the targeted bioactive compounds and desired biological activities.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Prof. Dr. Levent Şık, Assoc. Prof. Dr. Erdal Eroğlu, Asst. Prof. Dr. Tülay Öncü Öner and Res. Asst. Dr. Furkan Ozan Çöven of Manisa Celal Bayar University, for their valuable contributions to this study.

REFERENCES

Aboulthana, W. M., El-Feky, A. M., Ibrahim, N. E. S., Soliman, A. A., Youssef, A. M. Phytochemical analysis and biological study on *Sinapis alba* L. seeds extract incorporated with metal nanoparticles, in vitro approach, Scientific Reports, 15, 1, 13782, 2025.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., Karademir, S. E. Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method, *Journal of agricultural and food chemistry*, 52, 26, 7970–7981, 2004.

Benoussar, N. F. Z., Haddam, N., Belyagoubi-Benhammou, N., Tahir, F. Z., Kherraf, Y., Habi, S., ... Merzouk, H. Dry coffee parchment powder as a source of polyphenolic compounds: a comprehensive study on its phytochemistry, bioactivities, and toxicity insights, *Waste and Biomass Valorization*, 17, 2, 917–930, 2026.

Boscaro, V., Boffa, L., Binello, A., Amisano, G., Fornasero, S., Cravotto, G., Gallicchio, M. Antiproliferative, proapoptotic, antioxidant and antimicrobial effects of *Sinapis nigra* L. and *Sinapis alba* L. extracts, *Molecules*, 23, 11, 3004, 2018.

Brodzikowska, A., Górski, B., Michałowski, K. Phytochemistry and Application of White Mustard (*Sinapis alba*) in Medicine and Dentistry—A Narrative Review, *Molecules*, 31, 4, 674, 2026.

Carrillo, C., Arias-Palacios, J., OE, R. A. Assessment of the antibacterial capacity of extracts of *Sinapis alba* L. By the method of plates and wells, *Assessment*, 2, 329–335, 2019.

Çolak, N. U., Badem, M., Şener, S. Ö., Kanbolat, Ş., Yaşar, A., Özgen, U., Değirmenci, A. Optimization of phenolic acid extraction from *Origanum* species via novel deep eutectic solvents using response surface methodology, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19, 9, 6528–6539, 2025.

De Almeida Pontes, P. V., Shiwaku, I. A., Maximo, G. J., Batista, E. A. C. Choline chloride-based deep eutectic solvents as potential solvent for extraction of phenolic compounds from olive leaves: Extraction optimization and solvent characterization, *Food Chemistry*, 352, 129346, 2021.

Demir, Ö., Gök, A., Kırbaşlar, Ş. The Extraction of Antioxidant Compounds from *Coriandrum sativum* Seeds by Using Green Solvents, *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 11, 3, 1329–1338, 2024.

Erdem, A., Keskin, M., Bekar, E., Kamiloglu, S. Ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from walnut (*Juglans regia* L.) shell waste using choline chloride-based natural deep eutectic solvents (NADES): an in vitro bioaccessibility study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 105(13), 6981-6992, 2025.

Eroglu, E. Investigation of Phenolic Profile and In Vitro Bioactivities of DMSO Extract from Clove Oil, *South African Journal of Botany*, 184, 761–768, 2025.

Ghasemzadeh, A., Ghasemzadeh, N. Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human, *J. Med. Plants Res*, 5, 31, 6697–6703, 2011.

Gıdık, B., Önemli, F. Determination of the oil content and fatty acid composition of *Brassica juncea*, *Brassica napus*, *Sinapis alba*, and *Camelina sativa*, Bahçe, 48(2), 65–72, 2019.

Kamiloğlu, A., Kutlu, N., Elbir Abca, T., Yılmaz, Ö. Extraction of Bioactive Compounds from Celery Root Peels Using an Ultrasound-Assisted Method with Choline Chloride–Based Deep Eutectic Solvents, Food and Bioprocess Technology, 18(4), 3968–3980, 2025.

Kayacetin, F. Botanical characteristics, potential uses, and cultivation possibilities of mustards in Turkey: a review, Turkish Journal of Botany, 44(2), 101-127, 2020.

Khatib, R., Al-Makky, K. Anti-oxidant and Anti-bacterial Activities of *Sinapis alba* L. (Leaves, Flowers and Fruits) Grown in Syria, Bulletin of Pharmaceutical Sciences Assiut University, 44(2), 339–346, 2021.

Kozłowska, M., Ścibisz, I., Przybył, J. L., Laudy, A. E., Majewska, E., Tarnowska, K., ... Ziarno, M. Antioxidant and Antibacterial Activity of Extracts from Selected Plant Material, Applied Sciences, 12(19), 9871, 2022.

Krishnaveni, M., Saranya, S., Phytochemical Characterization of *Brassica nigra* Seeds, International Journal of Advanced Life Sciences, 9, 150–158, 2026.

Ling, J. K. U., Hadinoto, K. Deep eutectic solvent as green solvent in extraction of biological macromolecules: A review, International Journal of Molecular Sciences, 23(6), 3381, 2022.

Liu, Z., Sun, T., Liu, J., Liang, N., Zhao, L. Natural Deep Eutectic Solvent as a Green Extraction Medium for the Ultrasonic-Assisted Extraction of Sinapine Thiocyanate from Black Mustard Seeds, Microchemical Journal, 201, 110549, 2024.

Mitrović, P. M., Stamenković, O. S., Banković-Ilić, I., Djalović, I. G., Nježić, Z. B., Farooq, M., ... & Veljković, V. B. White mustard (*Sinapis alba* L.) oil in biodiesel production: A review, Frontiers in plant science, 11, 299, 2020.

Munteanu, I. G., Apetrei, C. Analytical methods used in the determination of antioxidant activity: A review, International journal of molecular sciences, 22(7), 3380, 2021.

MuthuKathija, M., Badhusha, M. S. M., Rama, V. Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using *Pisonia alba* Leaf Extract and Its Antibacterial Activity, Applied Surface Science Advances, 15, 2023.

Polat Köse, L. An Investigation on Yellow (*Sinapis alba*) and Black (*Brassica nigra*) Mustard Seed Extracts: Antioxidant, Anticholinergic Activities, and Phenolic Analysis via Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry, Chemistry & Biodiversity, 22(10), e00762, 2025.

Prabhune, A., Dey, R. Green and sustainable solvents of the future: Deep eutectic solvents, *Journal of Molecular Liquids*, 379, 121676, 2023.

Rahman, M., Khatun, A., Liu, L., Barkla, B.J. Brassicaceae mustards: Traditional and agricultural uses in Australia and New Zealand, *Molecules*, 23(1), 231, 2018.

Rahman, M., Khatun, A., Liu, L., Barkla, B. J. Brassicaceae mustards: phytochemical constituents, pharmacological effects, and mechanisms of action against human disease, *International journal of molecular sciences*, 25(16), 9039, 2024.

Rashid, R., Wani, S. M., Manzoor, S., Masoodi, F. A., Dar, M. M. Green extraction of bioactive compounds from apple pomace by ultrasound assisted natural deep eutectic solvent extraction: Optimisation, comparison and bioactivity. *Food Chemistry*, 398, 133871, 2023.

Rente, D., Paiva, A., Duarte, A. R. Role of hydrogen bond donor in the extraction of phenolic compounds from native matrices using deep eutectic systems, *Molecules*, 26 (8), 2336, 2021.

Serna-Vázquez, J., Ahmad, M. Z., Boczkaj, G., Castro-Muñoz, R. Latest insights on novel deep eutectic solvents (DES) for sustainable extraction of phenolic compounds from natural sources, *Molecules*, 26(16), 5037, 2021.

Singh, S., Das, S. S., Singh, G., Perroti, M., Schuff, C., Catalán, C. A. Comparison of chemical composition, antioxidant and antimicrobial potentials of essential oils and oleoresins obtained from seeds of *Brassica juncea* and *Sinapis alba*, *MOJ Food Process. Technol*, 4, 113-120, 2017.

Suthar, K. J. Natural deep eutectic solvents in extraction science: progress, challenges, and future prospects, *Separation Science Plus*, 8(6), e70075, 2025.

Şahin, S., Kurtulbaş, E., Toprakçı, İ., Anwar, F., Khan, R., Ciğeroğlu, Z., ... & Falsafi, S. R. Deep Eutectic Solvents for Sustainable Extraction of Bioactive Compounds from Biomass: Mechanistic Insights and Scale-Up Challenges, *Molecules*, 31(5), 880, 2026.

Vergun, O. M., Rakhmetov, D. B., Shymanska, O. V., Fishchenko, V. V., Ivanišová, E., Brindza, J. Leaves extracts of selected crops as potential source of antioxidants, *Plant Introduction*, 84, 82-88, 2019.

ASSESSING THE IMPACT OF PRIMARY HEALTHCARE REFORMS ON RURAL POPULATION HEALTH OUTCOMES IN KAZAKHSTAN

Prof. Dr. Aigerim Sadvakassova, Nurlan Beketov, Dr. Dana Utepova

School of Public Health, Nazarbayev University, Kazakhstan

ABSTRACT

This study assesses the impact of primary healthcare reforms on rural population health outcomes in Kazakhstan, where geographic dispersion, workforce shortages, and infrastructural limitations have historically constrained service delivery. Recent reforms aim to strengthen primary care as the foundation of the health system through expanded family medicine practices, improved referral mechanisms, and enhanced preventive services. The research explores how these changes influence access, continuity of care, and health indicators in rural communities.

The study is based on health policy analysis and public health literature related to primary care reform in transitional health systems. It examines the relationship between service availability, workforce distribution, and population health outcomes such as maternal care, chronic disease management, and immunization coverage. The findings suggest that reforms have contributed to improved access in some regions, yet persistent challenges remain in remote areas where staffing and resource gaps continue to limit effectiveness.

The paper argues that successful primary healthcare reform requires not only structural changes but also sustained investment in human resources, training, and community engagement. Strengthening rural health posts, expanding telemedicine support, and integrating preventive programs are identified as key priorities. The study concludes that primary healthcare reforms can significantly improve rural health outcomes when they are implemented with attention to local context, long-term capacity building, and equitable resource allocation.

Key words: primary healthcare reform, rural health, Kazakhstan, health outcomes, health policy

MATERNAL AND CHILD HEALTH IMPROVEMENT STRATEGIES IN SEMI-URBAN REGIONS OF KAZAKHSTAN

Assoc. Prof. Dr. Yerzhan Kassenov, Ainur Tolegenova

Faculty of Medicine, Karaganda Medical University, Kazakhstan

ABSTRACT

This study examines maternal and child health improvement strategies in semi-urban regions of Kazakhstan, where communities face a mix of urban and rural health challenges. Semi-urban areas often experience limited access to specialized care, gaps in preventive services, and socioeconomic barriers that affect pregnancy outcomes and child development. The research explores how targeted interventions can address these issues and strengthen local health systems.

The study draws on maternal and child health literature and public health program evaluations. It focuses on strategies such as antenatal care expansion, skilled birth attendance, postnatal follow-up, immunization programs, and nutrition support. The findings suggest that improvements in maternal and child health depend on coordinated efforts between primary care facilities, local authorities, and community organizations. Outreach services and health education play a critical role in reaching vulnerable populations.

The paper argues that semi-urban regions require tailored approaches that combine urban healthcare capacity with rural outreach mechanisms. Strengthening local clinics, training midwives, and improving transport links to higher-level facilities are essential for reducing preventable risks. The study concludes that maternal and child health in semi-urban Kazakhstan can be improved through integrated service delivery, community-based support, and sustained policy attention to underserved areas.

Key words: maternal health, child health, semi-urban regions, Kazakhstan, healthcare improvement

NUTRITIONAL DEFICIENCIES AND PUBLIC HEALTH INTERVENTIONS AMONG CHILDREN IN ETHIOPIAN COMMUNITIES

Dr. Mekdes Alemayehu, Tesfaye Bekele, Hana Girma, Abel Tadesse

School of Public Health, Addis Ababa University, Ethiopia

ABSTRACT

This study investigates nutritional deficiencies among children in Ethiopian communities and evaluates the role of public health interventions in improving child well-being. Malnutrition remains a persistent challenge in many parts of Ethiopia, where food insecurity, limited dietary diversity, and inadequate access to health services affect growth and development. The research explores the underlying causes of nutritional problems and the effectiveness of intervention programs.

The study is based on nutrition and child health literature, with attention to community-based health initiatives and preventive strategies. It examines how deficiencies in essential nutrients contribute to stunting, weakness, and increased vulnerability to illness. The findings suggest that nutritional status is shaped by household food access, maternal knowledge, sanitation conditions, and the availability of health and nutrition services. Early screening and regular growth monitoring are identified as important tools for identifying risk.

The paper argues that effective intervention must combine supplementation, dietary education, primary care outreach, and community participation. Programs are more successful when they are culturally appropriate and linked to local health infrastructure. The study concludes that child nutrition in Ethiopia should be addressed through integrated public health planning rather than isolated measures. Strengthening preventive systems can improve both health outcomes and broader developmental progress.

Key words: child nutrition, Ethiopia, public health intervention, malnutrition, preventive healthcare

EPIDEMIOLOGICAL ANALYSIS OF INFECTIOUS DISEASE SPREAD IN RURAL ETHIOPIA

Prof. Dr. Dawit Kebede, Selamawit Desta

Department of Epidemiology, Jimma University, Ethiopia

ABSTRACT

This study presents an epidemiological analysis of infectious disease spread in rural Ethiopia, where limited healthcare access, poor sanitation, and environmental factors contribute to ongoing transmission. Infectious diseases remain a major public health burden in rural areas, affecting productivity, education, and overall well-being. The research examines patterns of disease distribution and the factors that influence outbreak dynamics.

The study is grounded in epidemiological methods and public health surveillance literature. It focuses on common infectious diseases such as diarrheal illnesses, respiratory infections, malaria, and vaccine-preventable conditions. The findings suggest that disease spread is closely linked to water quality, housing conditions, population movement, and access to preventive services. Outbreaks are more frequent in areas with weak health infrastructure and limited health education.

The paper argues that controlling infectious diseases in rural Ethiopia requires strengthened surveillance, improved sanitation, and expanded access to vaccination and treatment. Community health workers and local health posts play a vital role in early detection and response. The study concludes that sustainable disease control depends on integrated public health strategies that combine medical intervention with environmental and social improvements.

Key words: infectious diseases, epidemiology, rural Ethiopia, disease surveillance, public health

THE ROLE OF TELEMEDICINE IN IMPROVING HEALTHCARE ACCESS IN RURAL TAIWAN

Prof. Dr. Wei-Chung Lin, Mei-Hua Chen, Dr. Chao-Hsiang Wu

School of Medicine, National Taiwan University, Taiwan

ABSTRACT

This study examines the role of telemedicine in improving healthcare access in rural Taiwan, where geographic isolation, aging populations, and workforce shortages create barriers to timely medical care. Telemedicine has emerged as a promising strategy for extending specialist services, supporting chronic disease management, and reducing the need for long-distance travel. The research explores how digital health platforms influence service utilization and patient outcomes in rural settings.

The study is based on health technology assessment and telemedicine implementation literature. It focuses on applications such as remote consultations, digital monitoring, and virtual follow-up for patients with chronic conditions. The findings suggest that telemedicine can enhance access to care, reduce waiting times, and improve continuity of treatment. However, successful implementation depends on technological infrastructure, provider training, and patient acceptance.

The paper argues that telemedicine should be integrated into broader rural health strategies rather than operating as a standalone solution. Coordination with local clinics, clear referral pathways, and sustainable funding are essential for long-term effectiveness. The study concludes that telemedicine can significantly improve healthcare access in rural Taiwan when it is supported by policy frameworks, technical capacity, and community engagement.

Key words: telemedicine, rural healthcare, Taiwan, healthcare access, digital health

ADVANCES IN CANCER DIAGNOSTICS USING AI-BASED IMAGING TECHNOLOGIES IN TAIWAN

Assoc. Prof. Dr. Yu-Ting Huang, Chun-Yu Tsai

Department of Medical Imaging, National Cheng Kung University, Taiwan

ABSTRACT

This study explores advances in cancer diagnostics using AI-based imaging technologies in Taiwan, where artificial intelligence is increasingly applied to radiology, pathology, and screening programs. Early and accurate diagnosis is critical for improving cancer outcomes, yet traditional methods can be time-consuming and subject to variability. AI-assisted imaging offers the potential to enhance detection accuracy, streamline workflows, and support clinical decision-making.

The study is based on medical imaging literature and AI applications in oncology. It examines how machine learning algorithms can identify patterns in imaging data, assist in lesion characterization, and prioritize cases for review. The findings suggest that AI tools can improve diagnostic sensitivity and reduce interpretation time, particularly in high-volume settings. However, the study also notes the importance of human oversight, validation, and ethical considerations in clinical use.

The paper argues that AI-based imaging should complement rather than replace professional judgment. Effective integration requires training, quality assurance, and alignment with clinical guidelines. The study concludes that AI technologies can strengthen cancer diagnostics in Taiwan when they are implemented responsibly and embedded within comprehensive care pathways.

Key words: cancer diagnostics, AI imaging, Taiwan, medical imaging, artificial intelligence

MENTAL HEALTH AWARENESS AND COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN TAIWANESE YOUTH

Dr. Li-Hsin Chang, Pei-Yu Lin, Hsiao-Ting Kuo, Jia-Hao Wang

Department of Psychology, National Taiwan University, Taiwan

ABSTRACT

This study examines mental health awareness and community-based interventions among Taiwanese youth, where increasing academic pressure, social expectations, and digital media exposure have contributed to rising concerns about psychological well-being. Mental health challenges such as anxiety, depression, and stress are increasingly recognized, yet stigma and limited access to services remain barriers to care. The research explores how community programs can promote awareness and support early intervention.

The study is grounded in youth mental health and community psychology literature. It focuses on school-based programs, peer support initiatives, public education campaigns, and counseling services accessible at the community level. The findings suggest that awareness-raising efforts can reduce stigma and encourage help-seeking behavior when they are culturally sensitive and sustained over time. Community-based interventions are most effective when they involve multiple stakeholders, including families, educators, and health professionals.

The paper argues that mental health promotion should be integrated into broader youth development strategies. Schools and community centers can serve as key platforms for delivering support and building resilience. The study concludes that community-based interventions can improve mental health outcomes for Taiwanese youth when they are supported by policy, adequate resources, and long-term commitment.

Key words: mental health awareness, youth mental health, Taiwan, community intervention, psychological well-being

PUBLIC HEALTH POLICY REFORMS AND THEIR IMPACT ON URBAN HEALTH SYSTEMS IN AZERBAIJAN

Prof. Dr. Leyla Mammadli, Rashad Guliyev, Aysel Karimova, Elvin Aliyev

Faculty of Public Health, Azerbaijan Medical University, Azerbaijan

ABSTRACT

This study investigates public health policy reforms and their impact on urban health systems in Azerbaijan, where modernization efforts aim to improve service quality, accessibility, and efficiency. Urban areas face distinct challenges related to population density, lifestyle-related diseases, and the need for coordinated care across multiple levels of the health system. The research examines how policy changes influence organizational structures, resource allocation, and health outcomes.

The study is based on health policy analysis and urban health system studies. It focuses on reforms related to primary care strengthening, insurance mechanisms, digital health integration, and preventive service expansion. The findings suggest that reforms have contributed to improved infrastructure and service availability in major cities, yet gaps remain in coordination, workforce capacity, and equity of access.

The paper argues that successful public health reform requires alignment between policy objectives and implementation capacity. Strengthening management systems, expanding health information networks, and investing in human resources are essential for sustainable improvement. The study concludes that public health policy reforms can enhance urban health systems in Azerbaijan when they are supported by coherent planning, stakeholder engagement, and continuous evaluation.

Key words: public health policy, urban health systems, Azerbaijan, health reform, healthcare management

ENVIRONMENTAL HEALTH RISKS AND AIR POLLUTION EFFECTS IN INDUSTRIAL REGIONS OF AZERBAIJAN

Assoc. Prof. Dr. Kamran Huseynov

Faculty of Environmental Health, Azerbaijan Medical University, Azerbaijan

ABSTRACT

This study examines environmental health risks and air pollution effects in industrial regions of Azerbaijan, where manufacturing activity, energy production, and transportation contribute to elevated levels of airborne pollutants. Exposure to poor air quality poses significant risks for respiratory and cardiovascular health, particularly in densely populated industrial zones. The research explores the relationship between pollution sources, environmental conditions, and public health outcomes.

The study is based on environmental health literature and air quality monitoring data. It focuses on pollutants such as particulate matter, sulfur dioxide, nitrogen oxides, and industrial emissions. The findings suggest that air pollution levels vary across regions and are influenced by meteorological conditions, emission controls, and urban planning. Vulnerable populations, including children, the elderly, and those with pre-existing conditions, face greater health risks.

The paper argues that reducing environmental health risks requires coordinated action across environmental regulation, industrial policy, and public health planning. Strengthening monitoring systems, enforcing emission standards, and promoting cleaner technologies are identified as key priorities. The study concludes that addressing air pollution in industrial regions of Azerbaijan is essential for protecting public health and supporting sustainable urban development.

Key words: environmental health, air pollution, Azerbaijan, industrial regions, public health

PARASITIC INFECTIONS AND THEIR IMPACT ON SHEEP PRODUCTION IN MOLDOVAN AGRICULTURE

Prof. Dr. Victor Stratulat, Ana Balan, Sergiu Munteanu, Irina Cojocaru

Faculty of Veterinary Medicine, State Agricultural University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This study examines parasitic infections and their impact on sheep production in Moldovan agriculture, focusing on the prevalence of internal and external parasites, their effects on animal health, and the economic consequences for livestock farming. Parasitic diseases remain a significant constraint in sheep production, contributing to reduced weight gain, lower reproductive performance, decreased wool quality, and increased mortality rates. The research explores the relationship between parasite burden, management practices, and production outcomes in Moldovan sheep flocks.

The study is based on veterinary parasitology literature and field investigations in sheep farms across different regions of Moldova. It focuses on common parasites such as gastrointestinal nematodes, liver flukes, and ectoparasites, examining their life cycles, transmission patterns, and seasonal dynamics. The findings suggest that parasitic infections are closely linked to grazing management, stocking density, and anthelmintic use practices. The study also highlights the growing concern of anthelmintic resistance and the need for sustainable control strategies.

The paper argues that effective parasite management requires an integrated approach combining strategic deworming, pasture management, selective breeding for resistance, and regular monitoring. It emphasizes the importance of farmer education and veterinary support in implementing control programs. The study concludes that reducing parasitic infections can significantly improve sheep productivity, animal welfare, and farm profitability in Moldovan agriculture. Sustainable parasite control is essential for the long-term viability of sheep production systems.

Key words: parasitic infections, sheep production, Moldova, veterinary parasitology, livestock health

VETERINARY PARASITOLOGY AND CONTROL STRATEGIES IN INDONESIAN AQUACULTURE SYSTEMS

Assoc. Prof. Dr. Dewi Kartika, Slamet Riyadi

Faculty of Veterinary Medicine, Gadjah Mada University, Indonesia

ABSTRACT

This study investigates veterinary parasitology and control strategies in Indonesian aquaculture systems, where parasitic diseases pose significant challenges to fish health and production sustainability. Indonesia's diverse aquaculture sector, including pond, cage, and rice-field fish farming, faces continuous pressure from various parasitic organisms that affect growth, survival, and market quality. The research examines the epidemiology of aquatic parasites and evaluates control measures suitable for tropical aquaculture environments.

The study is based on aquaculture parasitology literature and field surveys in major fish farming regions. It focuses on common parasites such as protozoans, monogeneans, crustaceans, and helminths, analyzing their host specificity, environmental requirements, and transmission dynamics. The findings suggest that parasite outbreaks are often associated with poor water quality, high stocking density, and inadequate biosecurity measures. The study also notes the limitations of chemical treatments and the environmental concerns associated with their use.

The paper argues that sustainable parasite control in aquaculture requires integrated management approaches combining preventive measures, biological control, and improved farm management practices. It emphasizes the importance of regular health monitoring, proper nutrition, and selective breeding for disease resistance. The study concludes that effective parasite management is essential for maintaining aquaculture productivity, environmental sustainability, and food security in Indonesia. Collaborative efforts between researchers, farmers, and policymakers are needed to develop context-appropriate control strategies.

Key words: veterinary parasitology, aquaculture, Indonesia, parasite control, fish health

VETERINARY IMMUNOLOGY APPROACHES FOR VACCINE DEVELOPMENT IN MOLDOVA LIVESTOCK

Dr. Elena Rusu

Faculty of Veterinary Medicine, State Agricultural University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This study examines veterinary immunology approaches for vaccine development in Moldova livestock, focusing on the immunological principles, challenges, and opportunities in creating effective vaccines for common livestock diseases. Vaccination remains one of the most cost-effective strategies for preventing infectious diseases in animals, yet vaccine development faces numerous scientific and practical obstacles. The research explores how immunological knowledge can be applied to improve vaccine efficacy and safety in Moldovan livestock production systems.

The study is based on veterinary immunology literature and vaccine development research. It focuses on the mechanisms of immune response, antigen selection, adjuvant use, and delivery systems that influence vaccine performance. The findings suggest that successful vaccine development requires understanding of pathogen biology, host immune responses, and local disease epidemiology. The study also highlights the challenges of vaccine stability, cold chain maintenance, and farmer acceptance in rural settings.

The paper argues that vaccine development in Moldova should prioritize diseases with significant economic impact and public health relevance. It emphasizes the importance of collaboration between research institutions, veterinary services, and pharmaceutical companies. The study concludes that advances in veterinary immunology can contribute to more effective disease prevention, reduced antibiotic use, and improved livestock productivity. Investment in vaccine research and development is essential for strengthening animal health and supporting sustainable agriculture in Moldova.

Key words: veterinary immunology, vaccine development, Moldova, livestock diseases, disease prevention

MOLECULAR DIAGNOSIS OF AVIAN INFLUENZA VIRUSES IN IRAQI POULTRY FARMS

Prof. Dr. Mustafa Al-Hakim, Dr. Noor Al-Dulaimi

College of Veterinary Medicine, University of Baghdad, Iraq

ABSTRACT

This study examines molecular diagnosis of avian influenza viruses in Iraqi poultry farms, focusing on the application of molecular techniques for rapid and accurate detection of viral strains. Avian influenza remains a major threat to poultry production, with potential implications for food security and public health. The research explores how molecular diagnostic methods can improve disease surveillance, outbreak response, and control measures in Iraqi poultry operations.

The study is based on virology literature and molecular diagnostic research. It focuses on techniques such as reverse transcription polymerase chain reaction, real-time PCR, and genetic sequencing that enable precise identification of viral subtypes and strains. The findings suggest that molecular diagnosis offers significant advantages over traditional methods in terms of sensitivity, specificity, and speed of detection. The study also notes the importance of proper sample collection, laboratory capacity, and quality control in ensuring reliable results.

The paper argues that molecular diagnosis should be integrated into national avian influenza surveillance programs to enhance early detection and response capabilities. It emphasizes the need for trained personnel, adequate laboratory infrastructure, and coordination between veterinary services and research institutions. The study concludes that molecular diagnostic tools can significantly improve disease management in Iraqi poultry farms, reducing economic losses and preventing disease spread. Continued investment in diagnostic capacity is essential for protecting poultry health and supporting sustainable production.

Key words: molecular diagnosis, avian influenza, Iraq, poultry farms, viral detection

CLINICAL MANAGEMENT OF INFECTIOUS DISEASES IN SMALL RUMINANTS IN IRAQI RURAL AREAS

Dr. Ahmed Al-Zubaidi, Hassan Kareem, Zainab Al-Fahdawi

College of Veterinary Medicine, University of Basrah, Iraq

ABSTRACT

This study investigates clinical management of infectious diseases in small ruminants in Iraqi rural areas, where sheep and goats play crucial roles in household income, food security, and cultural practices. Infectious diseases remain a major constraint to small ruminant production, causing significant economic losses and affecting rural livelihoods. The research examines current clinical practices, diagnostic challenges, and treatment strategies employed in rural veterinary settings.

The study is based on veterinary clinical literature and field observations in rural Iraqi communities. It focuses on common infectious diseases such as peste des petits ruminants, foot-and-mouth disease, pneumonia, and parasitic infections, analyzing their clinical presentation, diagnosis, and management. The findings suggest that disease management is often complicated by limited access to veterinary services, diagnostic facilities, and appropriate medications. The study also highlights the importance of traditional knowledge and community-based approaches in disease prevention.

The paper argues that effective clinical management requires improved veterinary infrastructure, better access to diagnostics, and enhanced training for rural veterinarians. It emphasizes the role of vaccination programs, biosecurity measures, and farmer education in reducing disease incidence. The study concludes that strengthening clinical management of infectious diseases in small ruminants can significantly improve animal health, productivity, and rural economic stability in Iraq. Integrated approaches combining modern veterinary medicine with community participation are essential for sustainable disease control.

Key words: clinical management, infectious diseases, small ruminants, Iraq, rural veterinary

ANALYSIS OF DAIRY CATTLE HEALTH AND MILK QUALITY IN MOLDOVAN FARMS

Assoc. Prof. Dr. Ion Popescu, Maria Lungu, Andrei Ceban

Faculty of Veterinary Medicine, State Agricultural University of Moldova, Moldova

ABSTRACT

This study analyzes dairy cattle health and milk quality in Moldovan farms, examining the relationship between animal health status, management practices, and milk production outcomes. Dairy cattle health directly affects milk yield, composition, and safety, making it a critical factor for farm profitability and consumer protection. The research explores how health monitoring, disease prevention, and management strategies influence milk quality parameters in Moldovan dairy operations.

The study is based on dairy science literature and farm surveys across different regions of Moldova. It focuses on common health issues such as mastitis, metabolic disorders, reproductive problems, and infectious diseases, analyzing their impact on milk production and quality. The findings suggest that milk quality is closely linked to herd health status, milking hygiene, nutrition, and overall farm management. The study also highlights the importance of regular health monitoring and record-keeping in identifying problems early.

The paper argues that improving dairy cattle health requires comprehensive approaches combining preventive medicine, proper nutrition, and good management practices. It emphasizes the role of veterinary support, farmer training, and quality assurance programs in maintaining high milk standards. The study concludes that enhanced cattle health management can lead to better milk quality, increased farm income, and improved consumer confidence in Moldovan dairy products. Sustainable dairy production depends on continued investment in animal health and quality control systems.

Key words: dairy cattle health, milk quality, Moldova, farm management, veterinary medicine

ADVANCES IN EQUINE MEDICINE AND PERFORMANCE MANAGEMENT IN KAZAKHSTAN

Assoc. Prof. Dr. Yerzhan Tolegenov, Aida Sarsenova

Faculty of Veterinary Medicine, Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan

ABSTRACT

This study examines advances in equine medicine and performance management in Kazakhstan, where horses hold significant cultural, economic, and sporting importance. The equine sector has experienced growing interest in recent years, driven by traditional equestrian culture, racing industries, and recreational riding. The research explores how modern veterinary medicine and performance management techniques are being applied to improve horse health, welfare, and athletic performance in Kazakhstani equine operations.

The study is based on equine veterinary literature and performance management research. It focuses on advances in diagnostic imaging, laboratory testing, nutrition, and training methodologies that contribute to better horse care. The findings suggest that equine medicine in Kazakhstan is evolving to incorporate international standards while adapting to local conditions and traditional practices. The study also highlights the importance of specialized veterinary services, farrier care, and preventive health programs.

The paper argues that continued development of equine medicine requires investment in veterinary education, research, and infrastructure. It emphasizes the need for collaboration between veterinarians, trainers, and owners to optimize horse performance and welfare. The study concludes that advances in equine medicine and performance management can support the growth of Kazakhstan's equine industry, enhance animal welfare, and preserve cultural heritage. Professional development and knowledge exchange are essential for maintaining high standards in equine care.

Key words: equine medicine, performance management, Kazakhstan, horse health, veterinary advances

EPIDEMIOLOGICAL STUDIES ON ZOO NOTIC DISEASE TRANSMISSION IN TROPICAL LIVESTOCK SYSTEMS IN INDONESIA

Prof. Dr. Budi Santoso, Dr. Rina Prasetya, Agus Wibowo

Faculty of Veterinary Medicine, Gadjah Mada University, Indonesia

ABSTRACT

This study presents epidemiological studies on zoonotic disease transmission in tropical livestock systems in Indonesia, where close human-animal contact and diverse farming practices create conditions favorable for disease spread. Zoonotic diseases pose significant risks to public health, animal welfare, and economic development, particularly in tropical environments where vector-borne and foodborne pathogens are prevalent. The research examines transmission patterns, risk factors, and control measures for major zoonotic diseases in Indonesian livestock systems.

The study is based on epidemiological literature and field investigations in various livestock production systems. It focuses on diseases such as brucellosis, leptospirosis, avian influenza, and rabies, analyzing their transmission dynamics, host ranges, and environmental influences. The findings suggest that zoonotic disease transmission is influenced by farming practices, animal movement, market systems, and human behavior. The study also highlights the challenges of disease surveillance and reporting in remote areas.

The paper argues that effective zoonotic disease control requires integrated approaches combining veterinary and public health efforts. It emphasizes the importance of farmer education, biosecurity measures, and intersectoral collaboration in reducing disease risk. The study concludes that epidemiological studies are essential for understanding disease transmission and developing evidence-based control strategies. Strengthening surveillance systems and promoting One Health approaches can significantly improve zoonotic disease management in Indonesian tropical livestock systems.

Key words: zoonotic diseases, epidemiology, Indonesia, livestock systems, disease transmission

SUSTAINABLE WATER DESALINATION SYSTEM DESIGN USING SOLAR ENERGY IN TUNISIAN COASTAL REGIONS

Amira Gharbi, Dr. Youssef Khelifi

Faculty of Engineering, University of Tunis El Manar, Tunisia

ABSTRACT

This study examines the design of sustainable water desalination systems powered by solar energy in Tunisian coastal regions, where freshwater scarcity and increasing demand create significant challenges for water security. Conventional desalination methods often rely on fossil fuels, contributing to high operational costs and environmental impacts. The research explores how solar-driven technologies can provide a more sustainable and economically viable alternative for coastal communities.

The study is based on renewable energy engineering and water resources literature. It focuses on the integration of photovoltaic systems, solar thermal collectors, and reverse osmosis or distillation units to create self-sufficient desalination plants. The findings suggest that solar desalination can reduce dependence on grid electricity, lower carbon emissions, and improve long-term cost efficiency. The study also highlights the importance of system sizing, energy storage, and maintenance planning in ensuring reliable operation.

The paper argues that solar desalination should be considered a strategic component of Tunisia's water and energy policies, particularly in coastal areas with high solar potential. Effective implementation requires coordination between technical design, regulatory frameworks, and local community engagement. The study concludes that sustainable solar desalination can contribute to improved water access, environmental protection, and regional development when integrated into comprehensive resource management strategies.

Key words: solar desalination, water security, Tunisia, renewable energy, sustainable engineering

SMART IRRIGATION CONTROL SYSTEMS BASED ON IOT TECHNOLOGIES FOR AGRICULTURAL OPTIMIZATION IN TUNISIA

Dr. Sami Trabelsi, Nadia Ben Youssef

National Institute of Agronomy, University of Carthage, Tunisia

ABSTRACT

This study investigates smart irrigation control systems based on Internet of Things technologies for agricultural optimization in Tunisia. Water scarcity, inefficient irrigation practices, and climate variability pose significant challenges to agricultural productivity and resource sustainability. The research explores how IoT-based monitoring and automation can improve water use efficiency, crop yield, and farm management.

The study draws on agricultural engineering and precision farming literature. It focuses on sensor networks, soil moisture monitoring, weather data integration, and automated valve control as key components of smart irrigation systems. The findings suggest that IoT technologies enable real-time decision-making, reduce water waste, and support more precise irrigation scheduling. The study also notes that these systems can be adapted to different crop types and farm sizes.

The paper argues that smart irrigation represents an important opportunity for modernizing Tunisian agriculture while addressing water constraints. Successful adoption depends on farmer training, technical support, and affordable system design. The study concludes that IoT-based irrigation can enhance agricultural sustainability, reduce resource pressure, and improve economic outcomes for farming communities.

Key words: smart irrigation, IoT technologies, agricultural optimization, Tunisia, water efficiency

ADVANCED STRUCTURAL HEALTH MONITORING USING SENSOR NETWORKS IN INDIAN INFRASTRUCTURE PROJECTS

Prof. Dr. Rajiv Menon, Ankit Sharma, Dr. Pooja Verma, Rohit Kulkarni

Faculty of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, India

ABSTRACT

This study examines advanced structural health monitoring using sensor networks in Indian infrastructure projects, where aging structures, increasing loads, and environmental stress require improved safety and maintenance strategies. Traditional inspection methods are often limited in frequency and scope, making continuous monitoring an important development for infrastructure management. The research explores how sensor-based systems can enhance structural assessment and early warning capabilities.

The study is based on structural engineering and smart infrastructure literature. It focuses on the deployment of accelerometers, strain gauges, displacement sensors, and wireless data transmission systems for real-time monitoring. The findings suggest that sensor networks can detect structural changes, identify potential failures, and support predictive maintenance planning. The study also highlights the importance of data analysis, system integration, and long-term reliability.

The paper argues that structural health monitoring should become a standard component of major infrastructure projects in India. Effective implementation requires coordination between engineers, technology providers, and regulatory authorities. The study concludes that sensor-based monitoring can improve safety, extend service life, and reduce maintenance costs in critical infrastructure systems.

Key words: structural health monitoring, sensor networks, Indian infrastructure, civil engineering, predictive maintenance

RENEWABLE ENERGY MICROGRID INTEGRATION FOR RURAL ELECTRIFICATION IN INDIA

Dr. Neha Iyer, Vikram Desai

School of Energy Studies, Indian Institute of Technology Bombay, India

ABSTRACT

This study investigates renewable energy microgrid integration for rural electrification in India, where many communities remain without reliable access to electricity. Conventional grid extension is often costly and logistically challenging in remote areas, making decentralized energy systems an attractive alternative. The research explores how microgrids powered by solar, wind, and biomass can support sustainable rural development.

The study is grounded in energy systems and rural development literature. It focuses on microgrid design, energy storage, load management, and community participation as key factors for successful implementation. The findings suggest that renewable microgrids can provide stable electricity supply, reduce dependence on diesel generators, and support local economic activities. The study also notes the importance of financial models, technical training, and institutional support.

The paper argues that microgrid integration should be prioritized in national rural electrification strategies. Effective deployment requires alignment with local needs, regulatory frameworks, and long-term maintenance planning. The study concludes that renewable energy microgrids can contribute to energy access, environmental sustainability, and improved quality of life in rural Indian communities.

Key words: renewable energy, microgrid, rural electrification, India, sustainable development

DEVELOPMENT OF LOW-COST AIR QUALITY MONITORING DEVICES FOR URBAN ENVIRONMENTS IN VIETNAM

Assoc. Prof. Dr. Nguyen Van Hung, Tran Thi Mai, Le Quoc Bao

Faculty of Environmental Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

ABSTRACT

This study examines the development of low-cost air quality monitoring devices for urban environments in Vietnam, where rapid industrialization, traffic growth, and construction activity have increased pollution levels. Effective air quality management requires reliable data, yet conventional monitoring stations are often limited in number and coverage. The research explores how affordable sensor-based devices can expand monitoring capacity and support public health initiatives.

The study is based on environmental engineering and sensor technology literature. It focuses on the design of compact monitoring units capable of measuring particulate matter, nitrogen oxides, and other pollutants. The findings suggest that low-cost devices can complement official monitoring networks, provide localized data, and increase public awareness of air quality issues. The study also highlights the importance of calibration, data validation, and network integration.

The paper argues that widespread deployment of affordable monitoring devices can strengthen environmental governance and community engagement. Successful implementation requires collaboration between researchers, manufacturers, and public authorities. The study concludes that low-cost air quality monitoring can support more informed policy decisions and healthier urban environments in Vietnam.

Key words: air quality monitoring, low-cost sensors, urban environment, Vietnam, environmental health

APPLICATION OF MACHINE LEARNING IN TRAFFIC FLOW OPTIMIZATION IN HO CHI MINH CITY

Dr. Pham Duc Long, Nguyen Thi Hoa, Vo Minh Tuan, Le Anh Khoa

Faculty of Computer Science and Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology,
Vietnam

ABSTRACT

This study investigates the application of machine learning in traffic flow optimization in Ho Chi Minh City, where rapid urbanization and increasing vehicle numbers have created significant congestion challenges. Traditional traffic management approaches often struggle to adapt to dynamic conditions, making intelligent systems an important area of development. The research explores how machine learning algorithms can improve traffic prediction, signal control, and route optimization.

The study is based on transportation engineering and artificial intelligence literature. It focuses on the use of historical traffic data, real-time sensor information, and predictive modeling to enhance traffic management. The findings suggest that machine learning can identify patterns, forecast congestion, and support adaptive signal timing. The study also notes the importance of data quality, system integration, and user acceptance.

The paper argues that machine learning should be integrated into urban traffic management strategies to improve efficiency and reduce travel time. Effective implementation requires coordination between technology developers, traffic authorities, and urban planners. The study concludes that intelligent traffic optimization can contribute to more sustainable and livable urban environments in Ho Chi Minh City.

Key words: machine learning, traffic flow optimization, Ho Chi Minh City, intelligent transportation, urban mobility

DESIGN OF ENERGY-EFFICIENT BUILDING MATERIALS FOR TROPICAL CLIMATES IN VIETNAM

Prof. Dr. Tran Quang Huy, Bui Thanh Son

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Ho Chi Minh City University of Architecture,
Vietnam

ABSTRACT

This study examines the design of energy-efficient building materials for tropical climates in Vietnam, where high temperatures, humidity, and intense solar radiation create specific challenges for thermal comfort and energy consumption. Conventional building materials often contribute to heat gain and increased cooling demand, making alternative solutions an important area of research. The study explores how material innovation can improve building performance in tropical conditions.

The study is based on building science and materials engineering literature. It focuses on the development of insulation materials, reflective coatings, thermal mass optimization, and locally sourced alternatives. The findings suggest that energy-efficient materials can reduce indoor temperatures, lower air conditioning needs, and improve occupant comfort. The study also highlights the importance of durability, cost-effectiveness, and compatibility with local construction practices.

The paper argues that energy-efficient building materials should be integrated into national building codes and design guidelines. Effective adoption requires collaboration between researchers, manufacturers, and architects. The study concludes that sustainable material design can contribute to reduced energy consumption, improved environmental performance, and more comfortable living conditions in tropical Vietnam.

Key words: energy-efficient materials, tropical climate, Vietnam, building design, sustainable construction

INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS FOR TRAFFIC MANAGEMENT IN PAKISTANI MEGACITIES

Dr. Imran Qureshi, Ali Raza, Dr. Sana Iqbal

Department of Transportation Engineering, University of Engineering and Technology
Lahore, Pakistan

ABSTRACT

This study investigates intelligent transportation systems for traffic management in Pakistani megacities, where rapid urban growth, increasing vehicle ownership, and inadequate infrastructure have created severe congestion problems. Traditional traffic control methods are often insufficient to address dynamic urban mobility challenges, making intelligent systems an important area of development. The research explores how technology-based solutions can improve traffic flow, safety, and urban accessibility.

The study is based on transportation planning and smart city literature. It focuses on the integration of traffic sensors, adaptive signal control, real-time information systems, and coordinated management platforms. The findings suggest that intelligent transportation systems can reduce travel time, improve intersection efficiency, and support better incident response. The study also notes the importance of data integration, institutional coordination, and public communication.

The paper argues that intelligent transportation should be prioritized in urban mobility strategies for Pakistani cities. Effective implementation requires investment in infrastructure, technical capacity, and policy support. The study concludes that intelligent transportation systems can contribute to more efficient, safer, and more sustainable urban mobility in megacities.

Key words: intelligent transportation, traffic management, Pakistani megacities, urban mobility, smart systems

AUTOMATION AND ROBOTICS APPLICATIONS IN TEXTILE INDUSTRY PROCESSES IN PAKISTAN

Assoc. Prof. Dr. Fahad Malik, Hina Tariq, Usman Khalid, Ayesha Noor

Faculty of Textile Engineering, National Textile University, Pakistan

ABSTRACT

This study examines automation and robotics applications in textile industry processes in Pakistan, where the sector faces challenges related to productivity, quality consistency, and labor-intensive operations. Global competition and technological advancement create pressure for modernization, making automation an important strategy for maintaining competitiveness. The research explores how robotic systems can improve manufacturing efficiency and product quality.

The study is based on industrial engineering and textile technology literature. It focuses on the application of automated cutting, sewing, material handling, and quality inspection systems. The findings suggest that automation can reduce production time, minimize errors, and enhance worker safety. The study also highlights the importance of workforce training, system integration, and investment planning.

The paper argues that automation should be strategically implemented to balance efficiency gains with employment considerations. Successful adoption requires collaboration between industry, educational institutions, and technology providers. The study concludes that robotics and automation can strengthen the Pakistani textile industry's competitiveness while supporting sustainable industrial development.

Key words: automation, robotics, textile industry, Pakistan, industrial engineering

SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN GEORGIAN EARTHQUAKE ZONES

Prof. Dr. Giorgi Tsiklauri, Nino Beridze, Levan Kapanadze

Faculty of Civil Engineering and Architecture, Georgian Technical University, Georgia

ABSTRACT

This study evaluates the seismic performance of reinforced concrete structures in Georgian earthquake zones, where tectonic activity and historical construction practices create significant structural vulnerability. Many existing buildings were designed under outdated codes or constructed without adequate seismic detailing, making them susceptible to damage during moderate to strong earthquakes. The research examines how current design standards, material properties, and structural configurations influence building behavior under seismic loading.

The study is based on structural engineering literature, seismic assessment methodologies, and case studies of reinforced concrete buildings in Georgia. It focuses on key performance indicators such as ductility, energy dissipation capacity, and failure mechanisms observed in typical structural systems. The findings suggest that structural performance depends not only on design quality but also on construction practices, material consistency, and maintenance conditions. Buildings with proper reinforcement detailing and regular inspection show significantly better resilience.

The paper argues that seismic evaluation should be integrated into broader urban risk reduction strategies, including retrofitting programs and updated building codes. In Georgia, where many structures remain unassessed, systematic evaluation can help prioritize interventions and reduce potential losses. The study concludes that improving seismic performance requires coordinated efforts between engineers, authorities, and building owners to ensure safer and more resilient construction in earthquake-prone regions.

Key words: seismic performance, reinforced concrete, earthquake zones, Georgia, structural assessment

SUSTAINABLE BRIDGE DESIGN USING COMPOSITE MATERIALS IN GEORGIA'S MOUNTAINOUS REGIONS

Dr. Tamar Gelashvili, Irakli Lomidze

Faculty of Civil Engineering, Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia

ABSTRACT

This study explores sustainable bridge design using composite materials in Georgia's mountainous regions, where challenging terrain, environmental sensitivity, and limited access complicate infrastructure development. Traditional bridge construction often relies on heavy materials and extensive foundations, which can be difficult to implement in remote and ecologically sensitive areas. The research examines how composite materials can offer lighter, more durable, and environmentally compatible alternatives.

The study is grounded in structural engineering and sustainable materials literature. It focuses on fiber-reinforced polymers, hybrid composites, and lightweight deck systems that reduce transportation and installation demands. The findings suggest that composite materials can improve bridge longevity, reduce maintenance needs, and minimize environmental impact in mountainous contexts. The study also highlights the importance of adapting design approaches to local geological and climatic conditions.

The paper argues that sustainable bridge design should balance structural performance with ecological responsibility. In Georgia's mountainous regions, this means selecting materials that withstand harsh weather while reducing construction disturbance. The study concludes that composite materials offer a promising pathway for developing resilient, low-impact bridge infrastructure in challenging terrains.

Key words: sustainable bridge design, composite materials, mountainous regions, Georgia, infrastructure

URBAN FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS AND DRAINAGE INFRASTRUCTURE IN MOROCCAN CITIES

Assoc. Prof. Dr. Hassan El Amrani, Youssef Bakkali, Fatima Zahra Idrissi

Faculty of Engineering, Mohammed V University, Morocco

ABSTRACT

This study examines urban flood management systems and drainage infrastructure in Moroccan cities, where rapid urbanization, changing rainfall patterns, and inadequate drainage capacity have increased flood risk. Many urban areas face recurring flooding during intense rainfall events, causing damage to infrastructure, disruption of services, and threats to public safety. The research explores how flood management strategies can be improved through integrated planning and infrastructure upgrades.

The study is based on urban hydrology, flood management literature, and case analyses of Moroccan cities. It focuses on drainage network design, retention systems, surface water management, and coordination between urban planning and water authorities. The findings suggest that effective flood management requires not only technical solutions but also institutional coordination, land-use regulation, and community awareness. Cities with comprehensive drainage strategies show better resilience to extreme weather.

The paper argues that flood management should be treated as a core component of urban development rather than an emergency response measure. In Morocco, this means upgrading aging infrastructure, expanding green drainage solutions, and integrating flood risk into planning decisions. The study concludes that improved drainage systems and proactive management can significantly reduce urban flood vulnerability and support more sustainable city development.

Key words: urban flood management, drainage infrastructure, Morocco, flood risk, sustainable cities

APPLICATION OF GREEN CONCRETE TECHNOLOGIES IN MOROCCAN CONSTRUCTION INDUSTRY

Dr. Samira El Fassi, Karim Alaoui

Faculty of Engineering, Hassan II University, Morocco

ABSTRACT

This study investigates the application of green concrete technologies in the Moroccan construction industry, where growing environmental concerns and resource constraints call for more sustainable building materials. Conventional concrete production contributes significantly to carbon emissions and natural resource depletion, making alternative approaches increasingly important. The research examines how green concrete can reduce environmental impact while maintaining structural performance.

The study is based on materials science and sustainable construction literature. It focuses on supplementary cementitious materials, recycled aggregates, and low-carbon binders that reduce the environmental footprint of concrete. The findings suggest that green concrete can offer comparable strength and durability to traditional mixes when properly designed and tested. The study also highlights the importance of quality control, local material availability, and industry acceptance.

The paper argues that green concrete technologies should be integrated into national construction standards and procurement policies. In Morocco, where construction activity continues to expand, sustainable materials can contribute to long-term environmental goals. The study concludes that wider adoption of green concrete requires collaboration between researchers, industry, and regulators to ensure both performance and sustainability.

Key words: green concrete, sustainable construction, Morocco, building materials, environmental impact

STRUCTURAL HEALTH MONITORING SYSTEMS FOR HIGH-RISE BUILDINGS IN NORTH MACEDONIA

Prof. Dr. Nikola Stojanov, Elena Petrovska, Marko Iliev

Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia

ABSTRACT

This study examines structural health monitoring systems for high-rise buildings in North Macedonia, where urban development and increasing building heights create new demands for safety and performance assessment. Structural health monitoring provides continuous data on building behavior, enabling early detection of damage, assessment of structural integrity, and informed maintenance decisions. The research explores how these systems can enhance building safety and longevity.

The study is based on structural engineering and monitoring technology literature. It focuses on sensor networks, data acquisition systems, and analytical methods used to assess structural performance over time. The findings suggest that monitoring systems can improve risk management by identifying issues before they become critical. The study also highlights the importance of integrating monitoring into design and maintenance planning.

The paper argues that structural health monitoring should be considered a standard practice for high-rise buildings, especially in seismically active regions. In North Macedonia, where urban growth continues, monitoring can support safer and more resilient construction. The study concludes that implementing monitoring systems contributes to better building management and long-term urban safety.

Key words: structural health monitoring, high-rise buildings, North Macedonia, building safety, structural engineering

GEOTECHNICAL ANALYSIS OF SOIL STABILITY IN ROAD CONSTRUCTION PROJECTS IN NORTH MACEDONIA

Assoc. Prof. Dr. Goran Trajkov, Ana Dimitrova

Faculty of Civil Engineering, Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia

ABSTRACT

This study presents a geotechnical analysis of soil stability in road construction projects in North Macedonia, where varied terrain, complex soil conditions, and climatic factors influence infrastructure performance. Road construction requires careful assessment of soil behavior to ensure foundation stability, prevent settlement, and reduce maintenance needs. The research examines how geotechnical investigation supports safer and more durable road design.

The study is based on geotechnical engineering literature and case studies of road projects. It focuses on soil testing, slope stability analysis, bearing capacity evaluation, and ground improvement techniques. The findings suggest that thorough geotechnical analysis can identify potential risks early and guide appropriate design responses. The study also highlights the importance of considering local geological conditions and environmental factors.

The paper argues that geotechnical assessment should be integrated into all stages of road planning and construction. In North Macedonia, where road networks connect diverse regions, stable foundations are essential for long-term performance. The study concludes that improved geotechnical practices can enhance road safety, reduce costs, and support more reliable infrastructure development.

Key words: geotechnical analysis, soil stability, road construction, North Macedonia, infrastructure

ENERGY-EFFICIENT BUILDING DESIGN APPROACHES IN URBAN AREAS OF NORTH MACEDONIA

Dr. Stefan Risteski, Marija Nikolova, Viktor Angelov, Petar Kostov

Faculty of Architecture, Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia

ABSTRACT

This study explores energy-efficient building design approaches in urban areas of North Macedonia, where heating and cooling demands, aging building stock, and energy costs create pressure for more sustainable construction. Energy efficiency in buildings can significantly reduce consumption, lower emissions, and improve indoor comfort. The research examines how design strategies can contribute to these goals in urban contexts.

The study is based on sustainable architecture and building physics literature. It focuses on insulation, passive design, efficient glazing, ventilation strategies, and renewable energy integration. The findings suggest that energy-efficient design can achieve substantial savings when applied systematically from the early design stages. The study also highlights the importance of balancing performance with cost and local construction practices.

The paper argues that energy efficiency should be a central objective in urban building policy and design education. In North Macedonia, where urban development continues, efficient buildings can support national energy and climate goals. The study concludes that widespread adoption of energy-efficient design requires clear standards, professional training, and incentives for sustainable construction.

Key words: energy-efficient design, urban buildings, North Macedonia, sustainable architecture, building performance

ADVANCED CONSTRUCTION MATERIALS FOR DESERT INFRASTRUCTURE IN ALGERIA

Nadia Cherifi, Prof. Dr. Karim Bensalem

Faculty of Engineering, University of Sciences and Technology Houari Boumediene, Algeria

ABSTRACT

This study investigates advanced construction materials for desert infrastructure in Algeria, where extreme temperatures, sand abrasion, and limited water resources create demanding conditions for building and infrastructure. Conventional materials often degrade quickly in desert environments, leading to increased maintenance and reduced service life. The research examines how advanced materials can improve durability and performance in arid regions.

The study is based on materials science and desert construction literature. It focuses on high-performance concrete, protective coatings, fiber reinforcement, and thermally resistant materials suited to desert conditions. The findings suggest that advanced materials can significantly extend infrastructure lifespan and reduce maintenance needs. The study also highlights the importance of material selection based on local climate and environmental exposure.

The paper argues that desert infrastructure development should prioritize materials that withstand harsh conditions while minimizing resource use. In Algeria, where desert regions cover much of the territory, durable materials are essential for sustainable development. The study concludes that advanced construction materials offer a practical solution for improving infrastructure resilience in arid environments.

Key words: advanced materials, desert infrastructure, Algeria, construction technology, durability

SEISMIC RETROFITTING TECHNIQUES FOR HISTORICAL BUILDINGS IN ALGERIA

Dr. Yacine Haddad, Amel Bouziane, Rachid Touati

Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Constantine, Algeria

ABSTRACT

This study examines seismic retrofitting techniques for historical buildings in Algeria, where many heritage structures were constructed before modern seismic codes and remain vulnerable to earthquake damage. Preserving these buildings while ensuring public safety requires careful intervention that respects historical value and improves structural performance. The research explores retrofitting strategies suitable for historical construction.

The study is based on structural conservation and seismic engineering literature. It focuses on techniques such as reinforced masonry, base isolation, structural reinforcement, and compatible material use. The findings suggest that retrofitting can significantly improve seismic resistance when designed with sensitivity to historical character. The study also highlights the importance of multidisciplinary collaboration between engineers, architects, and conservation specialists.

The paper argues that seismic retrofitting should be integrated into heritage conservation policy and urban risk management. In Algeria, where historical buildings form an important part of cultural identity, protecting them from seismic risk is both a technical and cultural priority. The study concludes that appropriate retrofitting techniques can ensure the safety and continuity of historical buildings for future generations.

Key words: seismic retrofitting, historical buildings, Algeria, heritage conservation, structural engineering

SMART GREENHOUSE TECHNOLOGIES FOR CLIMATE CONTROL AND WATER EFFICIENCY IN QATARI AGRICULTURE

Assoc. Prof. Dr. Nasser Al-Hajri, Latifa Al-Sulaiti
Faculty of Environmental Science, Qatar University, Qatar

ABSTRACT

This study examines smart greenhouse technologies for climate control and water efficiency in Qatari agriculture, where extreme heat, water scarcity, and limited arable land create significant challenges for food production. Greenhouse systems equipped with sensors, automated climate regulation, and precision irrigation offer a promising pathway to enhance productivity while conserving resources. The research explores how these technologies can support sustainable agricultural development in arid environments.

The study is based on agricultural technology literature and controlled environment farming studies. It focuses on the integration of environmental monitoring, automated shading, ventilation control, and drip irrigation systems that optimize water use. The findings suggest that smart greenhouses can improve crop yields, reduce water consumption, and stabilize growing conditions despite external climatic stress. The study also highlights the importance of energy efficiency and system maintenance in ensuring long-term viability.

The paper argues that smart greenhouse adoption should be supported by training programs, technical assistance, and policy incentives. In Qatar, these systems can contribute to national food security goals while reducing dependence on imports. The study concludes that smart greenhouse technologies offer a practical and scalable solution for enhancing agricultural resilience in arid regions.

Key words: smart greenhouse, climate control, water efficiency, Qatari agriculture, sustainable farming

PRECISION FARMING APPROACHES FOR RICE PRODUCTION OPTIMIZATION IN INDONESIAN TROPICAL REGIONS

Dr. Agus Prasetyo, Rina Wulandari, Budi Santoso, Siti Rahma

Faculty of Agriculture, Gadjah Mada University, Indonesia

ABSTRACT

This study investigates precision farming approaches for rice production optimization in Indonesian tropical regions, where rice remains a staple crop and a critical component of food security. Precision farming utilizes data-driven management, sensor technology, and targeted input application to improve efficiency and reduce environmental impact. The research explores how these methods can enhance yield stability and resource use in tropical rice systems.

The study is grounded in agricultural science and precision farming literature. It examines the use of soil mapping, nutrient monitoring, water management, and pest detection tools to support decision-making in rice cultivation. The findings suggest that precision approaches can lead to more consistent yields, reduced fertilizer use, and better adaptation to variable climatic conditions. The study also notes the importance of farmer training and access to technology for successful implementation.

The paper argues that precision farming should be integrated into broader agricultural development strategies in Indonesia. Effective adoption depends on supportive infrastructure, extension services, and local adaptation of technologies. The study concludes that precision farming can contribute to more sustainable and productive rice systems in tropical environments.

Key words: precision farming, rice production, Indonesia, tropical agriculture, resource efficiency

AGROFORESTRY SYSTEMS AND THEIR ROLE IN BIODIVERSITY CONSERVATION IN INDONESIA

Prof. Dr. Made Sukarta, Dewi Lestari

Faculty of Forestry, Bogor Agricultural University, Indonesia

ABSTRACT

This study examines agroforestry systems and their role in biodiversity conservation in Indonesia, where land-use change, deforestation, and habitat fragmentation pose significant threats to ecological diversity. Agroforestry combines trees with crops or livestock, offering a multifunctional land-use approach that can support both production and conservation goals. The research explores how agroforestry contributes to habitat preservation, species diversity, and ecosystem services.

The study is based on agroforestry and conservation biology literature. It focuses on the structural complexity of agroforestry systems, their capacity to provide habitat corridors, and their role in maintaining soil health and water quality. The findings suggest that well-designed agroforestry can enhance biodiversity while supporting rural livelihoods. The study also highlights the importance of species selection, spatial arrangement, and long-term management.

The paper argues that agroforestry should be recognized as a key strategy in national conservation planning. It can help reconcile agricultural expansion with ecological protection, especially in biodiversity-rich regions. The study concludes that agroforestry systems offer a practical pathway for integrating production and conservation in Indonesian landscapes.

Key words: agroforestry, biodiversity conservation, Indonesia, sustainable land use, ecosystem services

SOIL FERTILITY MANAGEMENT AND ORGANIC AMENDMENTS IN TUNISIAN ARID LANDS

Dr. Hichem Ben Salah, Amira Gharbi, Youssef Kallel

Faculty of Agriculture, University of Sfax, Tunisia

ABSTRACT

This study investigates soil fertility management and the use of organic amendments in Tunisian arid lands, where low organic matter, salinity, and limited rainfall constrain agricultural productivity. Sustainable soil management is essential for maintaining crop yields and preventing land degradation in dry environments. The research explores how organic inputs can improve soil structure, nutrient availability, and water retention.

The study draws on soil science and arid agriculture literature. It examines the application of compost, manure, crop residues, and green manure as strategies for enhancing soil fertility. The findings suggest that organic amendments can increase soil organic carbon, improve microbial activity, and support more resilient cropping systems. The study also notes the importance of combining organic inputs with appropriate tillage and irrigation practices.

The paper argues that soil fertility management should be a central component of agricultural policy in arid regions. Organic amendments offer a cost-effective and environmentally sound approach to improving soil health. The study concludes that sustainable soil management can contribute to long-term agricultural productivity and land conservation in Tunisia.

Key words: soil fertility, organic amendments, arid lands, Tunisia, sustainable agriculture

TAVUKLARDA BOYUN BÖLGESİNDEKİ ANA DAMARLARIN (ARTERIA CAROTIS ve VENA JUGULARIS) MAKROANATOMİK İNCELENMESİ ve KESİM NOKTALARININ TESPİTİ

Alp Kerim AKKUŞ
Balıkesir Üniversitesi

alp.kerim.aka@gmail.com 0009-0002-4203-6709

Prof. Dr. Şükrü Hakan ATALGIN

Balıkesir Üniversitesi

sukruhakan@balikesir.edu.tr 0000-0001-9436-6270

ÖZET

Bu çalışmada tavuklarda boyun bölgesinde bulunan *arteria carotis communis* ve *vena jugularis*'in makroanatomik özelliklerinin incelenmesi ve kesim noktalarının anatomik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma materyalini cinsiyet ayrımı yapılmaksızın toplam 40 adet erişkin broiler ırkı tavuk oluşturmuştur. Baş ve boyun bölgeleri diseksiyona uygun şekilde hazırlanarak vasküler yapıların anatomik seyri incelenmiştir. Damar yapılarını belirgin hale getirmek amacıyla *arteria carotis communis* içerisine kırmızı mürekkeple renklendirilmiş lateks enjekte edilmiş, *vena jugularis* ise makroskopik olarak incelenmiştir. Preparatlar %10'luk formaldehit çözeltisinde fikse edildikten sonra detaylı makroanatomik diseksiyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada *arteria carotis communis*'in tüm örneklerde bilateral olarak bulunduğu ve boyun bölgesinde trachea'nın lateralinde, daha derin planda seyrettiği; *vena jugularis*'in ise daha yüzeysel yerleşim gösterdiği belirlenmiştir. Boyun bölgesinde trachea, oesophagus, *arteria carotis communis* ve *vena jugularis*'in birbiriyle yakın anatomik ilişki içerisinde bulunduğu, boyunun cranio-ventral bölümünde büyük damar yapılarının birbirine yakın seyretmesi nedeniyle bu bölgenin kesim hattı açısından önemli anatomik referanslar içerdiği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, boyun bölgesindeki vasküler yapıların anatomik yerleşiminin uygun kesim hattının belirlenmesi, etkin kan boşalımı, hayvan refahı ve helal kesim kriterleri açısından önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: *arteria carotis communis*, *kesim noktası*, *makroanatomisi*, *tavuk*, *vena jugularis*

1.GİRİŞ

Kanatlı eti, dünya genelinde ve Türkiye'de yaygın olarak tüketilen hayvansal protein kaynaklarından biridir ve sektördeki üretim kapasitesinin artması kesim teknolojilerinin gelişmesini gerekli hale getirmiştir. Günümüzde tavuk kesimhanelerinde hızlı, standart ve hijyenik kesim yöntemlerinin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Kesim işlemi yalnızca üretim verimliliği ve karkas kalitesi açısından değil, aynı zamanda gıda güvenliği, dini kurallar ve etik yaklaşımlar bakımından da değerlendirilmesi gereken bir uygulamadır. Özellikle boyun bölgesinde gerçekleştirilen kesim sırasında anatomik yapıların doğru şekilde hedeflenmesi; kanın etkin biçimde boşaltılması, kısa sürede bilinç kaybının oluşması ve karkasta kalan kan miktarının azaltılması açısından önem taşımaktadır.

Tavuklarda boyun bölgesi; solunum, sindirim, dolaşım ve sinir sistemine ait önemli anatomik yapıların bir arada bulunduğu kompleks bir alanı oluşturmaktadır. Kanatlılarda boyun yapısı memelilere kıyasla daha uzun ve hareketli olup, tavuklarda genellikle 14 adet servikal vertebra bulunduğu ve bu vertebraların heterojen yapısının boynun fleksiyon, ekstansiyon ve rotasyon hareketlerini kolaylaştırdığı bildirilmektedir (Getty, 1975; Nickel ve ark., 1977). Boynun ventral bölümünde trachea yer almakta, oesophagus ise çoğunlukla trachea'nın sağ tarafında seyretmektedir (Dyce ve ark., 2010). Bu bölgenin dolaşımı *arteria carotis communis* ve *vena jugularis* tarafından sağlanmakta olup, kanatlılarda sağ *vena jugularis*'in sol tarafa göre daha gelişmiş olduğu bildirilmektedir (Nickel ve ark., 1977; King ve McLelland, 1984). Bu damarların boyun bölgesindeki yerleşimi, seyri ve çevre anatomik yapılarla ilişkilerinin ayrıntılı olarak bilinmesi, uygun kesim hattının belirlenmesi bakımından gereklidir.

Kanatlı kesim işlemleri teknik ve ekonomik boyutlarının yanı sıra dini açıdan da önem taşımaktadır. İslam dininde helal kesim uygulamalarında kesim işleminin, hayvanın çene altı ile boyun başlangıcı arasındaki bölgeden gerçekleştirilmesi ve trachea, oesophagus ile boyundaki büyük damarların kesilmesi temel kriterler arasında değerlendirilmektedir (Yaman, 2011). Mezhepler arasında bazı yorum farklılıkları bulunmakla birlikte, genel olarak kanın etkin şekilde boşaltılmasını sağlayacak anatomik yapıların kesilmesi gerektiği kabul edilmektedir. Hanefi mezhebinde trachea, oesophagus ve boyundaki büyük damarların çoğunluğunun kesilmesi öngörülürken, Şafii mezhebinde trachea ve oesophagus'un kesilmesi temel şart kabul edilmekte, Maliki ve Hanbeli mezheplerinde ise kanın yeterli düzeyde akıtılmasını sağlayacak damar yapılarının kesilmesine önem verilmektedir (Yaman, 2011). Bu durum, boyun bölgesindeki damarların anatomik yerleşiminin doğru şekilde bilinmesini önemli hale getirmektedir.

Son yıllarda kesim işlemlerinde hayvan refahı ve doğru kesim uygulamaları üzerine yapılan çalışmalar artış göstermiştir. Uygun olmayan kesim noktalarının; yetersiz kan boşalımı, karkasta fazla kan kalması ve bilinç kaybı sürecinin uzaması gibi istenmeyen sonuçlara yol

açabileceği bildirilmektedir (Gregory, 2005; Grandin, 2010). Bu nedenle tavuklarda boyun damarlarının yüzeyel anatomik referans noktalarıyla ilişkilerinin ortaya konulması, hem geleneksel hem de endüstriyel kesim yöntemlerinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilecek niteliktedir.

Bu çalışmada, tavuklarda boyun bölgesinde bulunan *arteria carotis* ve *vena jugularis*'in makroanatomik özelliklerinin incelenmesi, damarların çevre anatomik yapılarla ilişkilerinin ortaya konulması ve uygun kesim noktalarının belirlenmesine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Elde edilen verilerin kanatlı kesim teknikleri ile helal kesim kriterlerinin anatomik temellerinin değerlendirilmesine katkı sunacağı düşünülmektedir.

2.DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, cinsiyet ayrımı yapılmaksızın toplam 40 adet erişkin broiler ırkı tavuk üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan materyaller, kesim sonrası uygun şekilde temin edilen hayvanlardan elde edilmiştir. Baş ve boyun bölgeleri diseksiyon işlemlerine uygun şekilde ayrılarak çalışma materyali olarak hazırlanmış; *arteria carotis communis* ve *vena jugularis*'in seyri, dallanma özellikleri, topografik anatomileri ve boyun bölgesindeki lokalizasyonları incelenmiştir.

Preparatlarda damar lümenlerinde bulunan kan pıhtılarının ve kalıntılarının uzaklaştırılması amacıyla damar içleri serum fizyolojik ile yıkanmıştır. Daha sonra damar yapılarını belirgin hale getirmek amacıyla *arteria carotis communis* içerisine kırmızı mürekkeple renklendirilmiş lateks enjekte edilmiş, sağ ve sol *vena jugularis* ise makroskobik olarak incelenmiştir. Enjeksiyon işlemlerinde Educational & Scientific Products Ltd. (Rustington, West Sussex) tarafından üretilen lateks materyali kullanılmış; enjeksiyonlar uygun basınç altında gerçekleştirilmiş ve damarların dolumu makroskobik olarak kontrol edilmiştir.

Enjeksiyon işlemleri tamamlandıktan sonra preparatlar polimerizasyonun sağlanması amacıyla %10'luk formaldehit çözeltisi içerisinde 48 saat süreyle fikse edilmiştir. Fiksasyon sonrasında boyun bölgesine yönelik detaylı diseksiyon işlemleri gerçekleştirilmiş; deri (*cutis*), deri altı bağ dokusu ve yüzeyel kas tabakaları dikkatli şekilde uzaklaştırılarak boyun bölgesindeki vasküler yapılar ortaya konulmuştur. Özellikle *arteria carotis communis*'in trachea, oesophagus ve çevre kas yapıları ile olan anatomik ilişkileri değerlendirilmiştir.

Diseksiyon sonrasında damarların seyri, bilateral farklılıkları, yüzeyel anatomik referans noktalarıyla ilişkileri ve kesim hattı açısından önem taşıyan lokalizasyonları makroskobik olarak incelenmiştir. Gerekli bölgelerde stereoskopik mikroskop (Olympus Optical Co. Ltd., Tokyo, No: 20326) yardımıyla detaylı incelemeler yapılmış; elde edilen bulgular fotoğraflanarak kayıt altına alınmış ve anatomik değerlendirmeler karşılaştırmalı olarak gerçekleştirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1.Arteria carotis communis'in Makroanatomik Bulguları

Çalışmada incelenen tüm tavuklarda sağ ve sol *arteria carotis communis*'in bilateral olarak bulunduğu belirlenmiştir. Damarların boyun bölgesinde derin planda, çevre kas yapıları ve bağ dokusu ile çevrili olduğu, bu nedenle yüzeysel diseksiyon aşamalarında doğrudan görünür olmadığı saptanmıştır. Diseksiyon sırasında kas tabakalarının (mm. cervicales) uzaklaştırılmasını takiben damar yapılarının daha belirgin hale geldiği gözlenmiştir (Şekil 1).

Arteria carotis communis'in cranial yönde ilerleyerek baş bölgesine doğru seyrettiği ve boyun boyunca trachea ile yakın anatomik ilişki içerisinde bulunduğu tespit edilmiştir. Damarların genel olarak düzgün bir seyir gösterdiği, belirgin makroskobik varyasyonların gözlenmediği belirlenmiştir. Enjeksiyon sonrasında kırmızı renkli lateks materyalinin damar lümenini doldurduğu ve vasküler yapıların makroskobik olarak daha belirgin şekilde izlenmesini sağladığı görülmüştür. Boyun bölgesinin cranial kısmında damarın trachea ve oesophagus ile yakın komşuluk gösterdiği, bu topografik ilişkinin kesim hattı açısından önem taşıdığı değerlendirilmiştir.

3.2.Vena jugularis'in Makroanatomik Bulguları

Çalışmada incelenen tavukların tamamında *vena jugularis*'in bilateral olarak bulunduğu, arteriyel yapılara göre daha yüzeysel yerleşim gösterdiği belirlenmiştir. Sağ *vena jugularis*'in sol tarafa göre daha geniş çaplı ve daha belirgin olduğu, diseksiyon sırasında daha kolay ayırt edilebildiği dikkati çekmiştir. Venöz yapıların boynun cranial ve orta bölümünde daha yüzeysel anatomik referanslarla ilişkili olduğu belirlenmiş; bu durumun kesim işlemleri sırasında venöz drenajın sağlanması açısından önem taşıdığı değerlendirilmiştir.

3.3.Boyun Bölgesindeki Topografik Anatomik İlişkiler

Boyun bölgesinde trachea'nın ventral hatta yer aldığı, oesophagus'un ise çoğunlukla trachea'nın sağ tarafında seyrettiği gözlenmiştir. *Arteria carotis communis*'in daha derin planda, *vena jugularis*'in ise daha yüzeysel yerleşim gösterdiği; damar yapılarının boyun kasları ve bağ dokusu ile çevrelendiği saptanmıştır. Lateks enjeksiyonu sonrasında damar yapılarının seyri daha belirgin şekilde ortaya konulmuş, vasküler yapıların topografik anatomisi makroskobik olarak daha ayrıntılı değerlendirilmiştir.

3.4.Kesim Noktalarının Anatomik Değerlendirilmesi

Boyun bölgesinde gerçekleştirilen anatomik incelemeler sonucunda, trachea, oesophagus, *arteria carotis communis* ve *vena jugularis*'in birbirine yakın anatomik yerleşim gösterdiği; boynun cranio-ventral bölümünde gerçekleştirilecek kesim işlemlerinin büyük damar yapılarını kapsama olasılığının daha yüksek olduğu değerlendirilmiştir. *Arteria carotis communis*'in daha derin yerleşimli olması nedeniyle yüzeysel kesimlerin arteriyel yapıların tam olarak kesilmesini engelleyebileceği, buna karşın *vena jugularis*'in daha yüzeysel yerleşimi nedeniyle venöz yapıların kesim sırasında daha kolay etkilenebileceği düşünülmüştür. Sağ *vena jugularis*'in daha belirgin ve geniş çaplı olması nedeniyle sağ taraf ağırlıklı kesimlerin venöz kan boşalımı

açısından avantaj sağlayabileceği; boyun bölgesindeki büyük damar yapılarının uygun anatomik seviyeden kesilmesinin kanın etkin şekilde boşaltılması ve kesim işleminin etkinliği açısından önemli olduğu kanaatine varılmıştır.



Görsel 1. Tavuklarda boyun bölgesi, ventral görünüm. 1. *A. carotis communis*, 2. *Mm. cervicales*, 3. *Oesophagus*, 4. *Trachea*.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kanatlı hayvanlarda boyun bölgesi; solunum, sindirim, dolaşım ve sinir sistemine ait önemli anatomik oluşumları bir arada bulundurması nedeniyle kompleks bir anatomik alan olarak değerlendirilmektedir. Özellikle *arteria carotis communis* ve *vena jugularis*'in boyun bölgesindeki seyri, çevre anatomik yapılarla ilişkileri ve topografik yerleşimleri; hem anatomik çalışmalar hem de kesim uygulamaları açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada tavuklarda boyun bölgesindeki ana damar yapılarının makroanatomik özellikleri incelenmiş ve elde edilen bulgular literatür bilgileri doğrultusunda değerlendirilmiştir.

Çalışmada *arteria carotis communis*'in tüm örneklerde bilateral olarak bulunduğu ventral'de ve boyun bölgesinde trachea'nın lateralinde, daha derin planda seyrettiği belirlenmiştir. Bu bulgular, kanatlılarda carotid sistemin bilateral dağılım gösterdiğini bildiren önceki çalışmalarla uyumlu bulunmuştur. Aslan ve ark. (2006), farklı kanatlı türlerinde gerçekleştirdikleri çalışmada sağ ve sol internal carotid arterlerin tüm örneklerde mevcut olduğunu ve büyük ölçüde simetrik, düzenli bir seyir izlediğini bildirmiştir; bu çalışmada elde edilen bulgular söz konusu literatür verilerini destekler niteliktedir.

Kanatlılarda boyun bölgesinin uzun ve hareketli bir yapıda olması, damarların çevre anatomik oluşumlarla olan ilişkilerini daha karmaşık hale getirmektedir. Bu hareketlilik sırasında damar yapılarının korunabilmesi amacıyla *arteria carotis communis*'in daha derin planda yerleşim gösterdiği düşünülmektedir; damarların bağ dokusu ve kas yapıları ile çevrili

olması vasküler yapıların travmatik etkilerden korunmasına katkı sağlayabilmekle birlikte, bu durumun kesim işlemlerinde arteriyel yapıların tam olarak kesilememesi riskini artırabileceği değerlendirilmektedir. Nickel ve ark. (1977) ile Dyce ve ark. (2010) tarafından gerçekleştirilen anatomik çalışmalarda da ventral kısımda boyun damarlarının çevre kas yapılarıyla yakın ilişki içerisinde bulunduğu bildirilmiştir.

Araştırmada *vena jugularis*'in bilateral olarak bulunduğu ve venöz yapıların arteriyel yapılara göre daha yüzeysel yerleşim gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle sağ *vena jugularis*'in sol tarafa göre daha geniş çaplı ve daha belirgin olduğu dikkati çekmiştir; bu bulgu, kanatlılarda sağ *vena jugularis*'in daha gelişmiş olduğunu bildiren önceki çalışmalarla uyumludur (King ve McLelland, 1984). Venöz yapıların arteriyel yapılara göre daha yüzeysel yerleşim göstermesi, kesim uygulamalarında venöz yapıların daha kolay etkilenebileceğini, buna karşın nispeten derin yerleşimli arteriyel yapıların tam olarak kesilemeyebileceğini düşündürmektedir; yalnızca venöz yapılar üzerinden gerçekleşen kan boşalımının yeterli olmayabileceği, arteriyel dolaşımın da etkin şekilde sonlandırılması gerektiği bilinmektedir.

Boyun bölgesindeki topografik anatomik ilişkiler değerlendirildiğinde trachea'nın ventral hatta yer aldığı, oesophagus'un çoğunlukla trachea'nın sağ tarafında seyrettiği, *arteria carotis communis*'in daha derin, *vena jugularis*'in ise daha yüzeysel yerleşim gösterdiği gözlenmiştir; bu bulgular Dyce ve ark. (2010), Getty (1975) ve Nickel ve ark. (1977) tarafından bildirilen anatomik bilgilerle benzerlik göstermektedir. Çalışmada kullanılan renkli lateks enjeksiyon yönteminin damar yapılarını belirgin hale getirdiği ve vasküler anatominin daha ayrıntılı değerlendirilmesine katkı sağladığı gözlenmiştir; Aslan ve ark. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da benzer şekilde carotis arterlerin renkli lateks enjeksiyonu ile başarıyla ortaya konulduğu bildirilmiştir.

Helal kesim uygulamalarında trachea, oesophagus ve büyük damar yapılarının kesilmesi temel kriterler arasında değerlendirilmekte; İslami kaynaklarda kesim işleminin uygun anatomik seviyeden gerçekleştirilmesi gerektiği bildirilmektedir. Mezhepler arasında bazı yorum farklılıkları bulunmasına rağmen genel yaklaşım, boyundaki büyük damarların kesilmesi ve kanın etkin şekilde dışarı akmasının sağlanması yönündedir; bu nedenle boyun bölgesindeki vasküler yapıların anatomik yerleşiminin ortaya konulması, helal kesim kriterlerinin anatomik temellerinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Kesim sırasında büyük damar yapılarının tam olarak kesilememesi durumunda karkasta fazla miktarda kan kalabileceği, bunun ise et kalitesi, raf ömrü ve mikrobiyolojik kontaminasyon açısından olumsuz sonuçlara yol açabileceği bildirilmektedir (Warriss, 2000). Ayrıca büyük damar yapılarının tam olarak kesilememesi durumunda bilinç kaybının gecikebileceği, bunun da hayvan refahı açısından istenmeyen bir durum olduğu ifade edilmektedir (Gregory, 2005).

Sonuç olarak bu çalışmada tavuklarda boyun bölgesinde bulunan *arteria carotis communis* ve *vena jugularis*'in makroanatomik özellikleri ortaya konulmuş; boyun bölgesindeki vasküler yapıların bilateral dağılım gösterdiği, ventral bölümde arteriyel yapıların daha derin, venöz

yapıların ise daha yüzeysel yerleşim sergilediği belirlenmiştir. Boynun cranio-ventral bölümünün kesim hattı açısından önemli anatomik referanslar içerdiği değerlendirilmiştir. Elde edilen bulguların kanatlı anatomisi, veteriner cerrahi uygulamaları, kesim teknolojileri, hayvan refahı çalışmaları ve helal kesim kriterlerinin anatomik temellerine katkı sağlayabileceği; farklı kanatlı türlerinde gerçekleştirilecek karşılaştırmalı çalışmaların ve histolojik inceleme, damar çapı ölçümü ile radyolojik görüntüleme yöntemlerinin kullanılmasının ileride daha ayrıntılı anatomik verilerin elde edilmesine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Aslan, K., Atalgin, H., Kürtül, İ., & Bozkurt, E. U. (2006). Patterns of the internal and cerebral carotid arteries in various avian species: A comparative study. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 157(12), 621–624.
- Aygün, T. (2013). *Helal gıda problemleri ve çözüm önerileri*. Sidas Medya.
- Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G. (2010). *Textbook of veterinary anatomy* (4. bs.). Saunders Elsevier.
- Getty, R. (1975). *Sisson and Grossman's the anatomy of the domestic animals* (5. bs.). W.B. Saunders Company.
- Grandin, T. (2010). Auditing animal welfare at slaughter plants. *Meat Science*, 86(1), 56–65.
- Gregory, N. G. (2005). *Animal welfare and meat science*. CABI Publishing.
- King, A. S., & McLelland, J. (1984). *Birds: Their structure and function* (2. bs.). Bailliere Tindall.
- Nakyinsige, K., Man, Y. B. C., & Sazili, A. Q. (2013). Halal authenticity issues in meat and meat products. *Meat Science*, 91(3), 207–214.
- Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E. (1977). *Anatomy of the domestic birds*. Verlag Paul Parey.
- Warriss, P. D. (2000). *Meat science: An introductory text*. CABI Publishing.
- Yaman, A. (2011). Hayvan kesim yöntemleri ve fikhî hükümleri. İçinde *Günümüzde helal gıda* içinde. Diyanet İşleri Başkanlığı Yayınları.
- Yılmaz, İ. (2018). Helal kesim uygulamalarının İslam hukuku açısından değerlendirilmesi. *Cumhuriyet İlahiyat Dergisi*, 22(2), 1123–1145.

KOYUN AKCİĞERLERİNDE BRONŞ AĞACININ KOROZYON KAST TEKNİĞİ İLE ÜÇ BOYUTLU MODELLENMESİ

Yiğit GENÇ

Balıkesir Üniversitesi

yigit-genc1@hotmail.com 0009-0001-3256-1166

Prof. Dr. Şükrü Hakan ATALGIN

Balıkesir Üniversitesi

sukruhakan@balikesir.edu.tr 0000-0001-9436-6270

ÖZET

Bu çalışmada, koyun akciğerlerinde bronş ağacının korozyon kast tekniği kullanılarak üç boyutlu (3B) olarak modellenmesi amaçlanmıştır. Çalışma materyali olarak toplam 20 adet sağlıklı koyun akciğeri kullanılmıştır. Bronşiyal sistemin doldurulması amacıyla akışkanlığı yüksek monomerik metil metakrilat (MMA) ve lateks emülsiyonu tercih edilmiştir. Enjeksiyon işlemleri, akciğerlerin doğal anatomik hacminde ve kompresör yardımıyla pozitif basınç altında şişirilerek gerçekleştirilmiştir. Polimerizasyon sürecinin ardından akciğer dokuları %20'lik Potasyum Hidroksit (KOH) solüsyonu kullanılarak maserasyona tabi tutulmuş ve bronş ağacına ait 3B kast modelleri elde edilmiştir. Elde edilen preparatlarda; ana bronşlar, lobar bronşlar ve segmental dalların anatomik bütünlüğünün kompresör destekli MMA enjeksiyonlarında mükemmel düzeyde korunduğu gözlenmiştir. Kompresör kullanılmadan yapılan MMA enjeksiyonlarının ve lateks uygulamalarının distal bronşiyal yapılara ulaşamadığı ve yetersiz kalıplar ürettiği tespit edilmiştir. İncelenen tüm numunelerde, ruminantlara özgü bir makromorfolojik karakter olan *bronchus trachealis* yapısının bifurcatio trachea'nın cranial'inden belirgin bir şekilde ayrıldığı ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, kompresör yardımıyla uygulanan metil metakrilat korozyon kast tekniğinin, koyun akciğer morfolojisinin ve trakeobronşiyal dallanma geometrisinin olarak ortaya konulmasında son derece yararlı bir yöntem olduğu, elde edilen yüksek çözünürlüklü modellerin veteriner anatomi eğitiminde ve müze materyali olarak kullanılmasında büyük avantaj sağladığı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Akciğer, Anatomi, Bronş ağacı, Korozyon kast, Koyun, Metil metakrilat.

GİRİŞ

Solunum sistemi (*systema respiratorium*), organizmanın metabolik faaliyetlerini sürdürebilmesi ve homeostazisin korunması adına hayati bir öneme sahiptir. Havayı alveollere kadar ileten trakeobronşiyal ağaç yapısının morfolojik organizasyonu; cerrahi, patoloji, radyoloji ve karşılaştırmalı anatomi gibi birçok disiplinin temel odağını oluşturmaktadır. Küçük ruminant yetiştiriciliğinde, özellikle bakteriyel ve viral kaynaklı pnömoniler ciddi ekonomik kayıplara yol açtığından, koyun akciğer morfolojisinin ve bronşiyal dallanma geometrisinin hassasiyetle bilinmesi klinik tanı ve müdahaleler için elzemdir.

Solunum sistemi (*systema respiratorium*); hücresel düzeyde adenozin trifosfat (ATP) üretimi için ihtiyaç duyulan oksijenin (O_2) dış ortamdan alınmasını ve metabolik atık olan karbondioksit (CO_2) gazının vücuttan uzaklaştırılmasını sağlar (Getty, 1975). Sistem morfolojik ve fonksiyonel yönleriyle üst ve alt solunum yolları şeklinde sınıflandırılmaktadır (Mariassy & Plopper, 1983). Dış ortamdaki hava sırasıyla *cavum nasi*, *pharynx*, *larynx* ve *trachea* hatlarını takip ederek akciğer parankimine ulaşır (Getty, 1975). Bu yapılar gaz iletiminin yanı sıra havanın ısıtılması, nemlendirilmesi ve mukosilyer aktivite sayesinde filtrasyonu gibi savunma mekanizmalarını da yürütür (Getty, 1975; Mariassy & Plopper, 1983). Fonksiyonel solunum, alveoller ile kapiller yatak arasındaki dış solunum ve sistemik kan ile dokular arasındaki iç solunum fazlarından oluşur (König & Liebich, 2020; Mariassy & Plopper, 1983).

Akciğerler (*pulmones*), *cavum pectoris* içinde *cavum pleurae* adı verilen sağ ve sol yarım kürelerde lokalize, merkezi solunum organlarıdır (Dyce et al., 2010; König & Liebich, 2020). Sağ ve sol akciğer üniteleri, ortada kalp ve büyük damarları barındıran *mediastinum* bölmesi ile ayrılır (Dyce et al., 2010). Sağlıklı canlılarda süngerimsi, elastik ve açık pembe renkli olan bu organların dışı *pleura pulmonalis*, göğüs duvarının içi ise *pleura parietalis* ile kaplıdır (Dyce et al., 2010; Getty, 1975). İki plevra yapısı arasındaki *cavum pleurae*'de seröz bir sıvı bulunur ve solunum esnasındaki sürtünmeyi önler (Getty, 1975). Akciğerler makroskopik olarak bir *facies diaphragmatica*, *apex pulmonis* ve *facies costalis* sunar; iç yüzeydeki (*facies medialis*) *hilus pulmonis* ise damar ve sinir giriş kapısıdır (Dyce et al., 2010; König & Liebich, 2020). Küçük ruminant kliniklerinde sıklıkla izlenen pnömonilerin lokalizasyon tespiti ve oskültasyon muayeneleri, doğrudan doğruya akciğer lobifikasyon anatomisinin bilinmesine bağlıdır (Dyce et al., 2010).

Evcil memeliler arasında akciğerlerin lobifikasyon derecesi belirgin varyasyonlar gösterir (Getty, 1975; König & Liebich, 2020). Loblu yapı, *incisura interlobaris* adı verilen derin yarıklarla şekillenir ve organa hareket esnekliği kazandırır (Dyce et al., 2010). Kalbin sola yerleşimi nedeniyle sağ akciğer her zaman sol akciğere oranla daha büyük ve hacimlidir (Dyce et al., 2010; König & Liebich, 2020). Ruminantlar ve karnivorlar en derin interlobar yarıklara sahipken (Getty, 1975), tek tırnaklılarda (*Equidae*) belirgin yarıklar bulunmaz ve organ

bütünsel bir kütle görünümündedir (König & Liebich, 2020). Domuzlarda (*Sus*) ise ruminantlara benzer bir lobifikasyon modeli izlenir (Nakakuki, 1994).

Küçük ruminantlardan koyunlarda akciğer mimarisi, genel ruminant karakteristiğine sadıktır. Bağ dokusu (*septum interlobulare*) sığırlara göre daha az geliştiğinden yüzey çizgileri daha hafiftir ancak lob sınırları nettir (Getty, 1975; Nickel et al., 1979). *Nomina Anatomica Veterinaria* (NAV) standartlarına göre koyun akciğer lob yapısı şu şekildedir (ICVGAN, 2017):

Sol Akciğer (*Pulmo Sinister*): İki ana lobdan oluşur (Dyce et al., 2010; Getty, 1975). *Lobus cranialis sinister*, *incisura cardiaca* ile *pars cranialis* ve *pars caudalis* olmak üzere iki parçaya ayrılır. *Lobus caudalis sinister* ise geniş kaodoventral tabanı oluşturur.

Sağ Akciğer (*Pulmo Dexter*): Dört ana lobdan oluşur (Getty, 1975; König & Liebich, 2020). *Lobus cranialis dexter*, *pars cranialis* ve *pars caudalis*'e ayrılır ve doğrudan trakeadan ayrılan özel bir bronşla havalandırılır (Nakakuki, 1993; Nickel et al., 1979). Diğer loblar sırasıyla *lobus medius*, *lobus caudalis dexter* ve mediastinal bölgede saklı *lobus accessorius*'tur.

Soluk borusu (*trachea*), *basis cordis* hizasında *bifurcatio trachea* adını alan bölgede *bronchus principalis dexter* ve *bronchus principalis sinister* olmak üzere iki ana kola ayrılır (Dyce et al., 2010; Getty, 1975; König & Liebich, 2020). Akciğer parankimine giren ana bronşlar, lobları havalandırmak üzere *bronchus lobaris*'lere, bunlar da bağımsız segmentler için *bronchus segmentalis* ve *bronchus subsegmentalis*'lere bölünür (Nakakuki, 1993; Nickel et al., 1979). Bu dallanma geometrisi *arbor bronchialis* (bronş ağacı) olarak adlandırılır (ICVGAN, 2017; Nakakuki, 1994). Çapı 1 mm'nin altına inen ve kıkırdak matrisini kaybeden yapılar *bronchiolus* adını alır ve gaz değişiminin yapıldığı alveol keselerine (*sacculus alveolaris*) açılır (König & Liebich, 2020; Mariassy & Plopper, 1983).

Ruminantları ve domuzları diğer evcil memelilerden ayıran en spesifik anatomik fark, *bronchus trachealis*'in (trakeal bronş) varlığıdır (Getty, 1975; König & Liebich, 2020). Klasik memelilerde sağ cranial lob bronşu sağ ana bronştan köken alırken, koyunlarda trachea henüz *bifurcatio*'ya ulaşmadan ortalama 4-5 cm önce sağ lateral duvarından doğrudan bir bronş kökü verir (Dyce et al., 2010; Özüdoğru & Özdemir, 2019; Nickel et al., 1979). *Bronchus lobaris cranialis dexter* olarak da isimlendirilen bu trakeal bronş, sağ akciğerin cranial lobunun (*pars cranialis* ve *pars caudalis*) ventilasyonunu tek başına üstlenir (ICVGAN, 2017; Özüdoğru & Özdemir, 2019; König & Liebich, 2020; Nakakuki, 1993; Nickel et al., 1979). Bu morfolojik yapı, korozyon kast çalışmalarında akrilik materyalin sağ ön loba homojen dağılabilmesi için enjeksiyon basıncının çok hassas ayarlanmasını gerektirir (Nakakuki S. 1993).

İçi boşluklu organların, karmaşık hava yollarının ve vasküler şebekelerin uzaysal ilişkilerini aslına uygun korumak geleneksel diseksiyonla imkansızdır; zira destek doku kesildiğinde lümenler çöker (Tompsett, 1970). Korozyon kast tekniği, lümene sıvı halde enjekte edilen ve kısa sürede polimerize olan sentetik bir kimyasalın katılaşmasının ardından, çevre organik matrisin asit veya baz solüsyonlarında eritilmesi (korozyon/maserasyon) esasına dayanır (Nakakuki S. 1993; ; Tompsett, 1970). Polimerize kalıp kimyasallara dirençli olduğundan,

organik dokular uzaklaştığında geriye organ lümeninin aslına sadık, 3B bir kalıbı (kastı) kalır (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992; ; Tompsett, 1970).

Geleneksel diseksiyon yöntemleri, içi boşluklu organların ve karmaşık hava yollarının üç boyutlu (3B) uzaysal ilişkilerini ve orijinal hacimsel mimarisini göstermede yetersiz kalmaktadır. Bu sınırlılığı ortadan kaldıran korozyon kast tekniği, lümenlerin uygun bir sentetik polimerle doldurulması ve çevre organik dokuların kimyasal olarak uzaklaştırılması prensibine dayanır. Bu çalışmada, koyun akciğerlerinde bronş ağacının korozyon kast tekniği ile 3B modellenmesi, farklı enjeksiyon materyalleri (MMA ve Lateks) ile teknik varyasyonların (kompresörlü ve kompresörsüz uygulama) kalıp kalitesi üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması ve veteriner anatomi eğitimine yüksek nitelikli görsel materyal kazandırılması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Balıkesir bölgesindeki yerel bir mezbahadan temin edilen, makroskobik olarak sağlıklı, bütünü bozulmamış ve üzerinde herhangi bir patolojik lezyon bulunmayan 20 adet ergin koyun akciğeri kullanılmıştır. Enjeksiyon materyali olarak sıvı lateks emülsiyonu ve monomerik Metil Metakrilat (MMA) akrilik kiti (katalizör ve aktivatör ajanları ile birlikte) kullanılmıştır. Dokuların eritilmesi amacıyla %20'lik Potasyum Hidroksit (KOH) solüsyonu hazırlanmıştır. Preparatların kurutulması ve enjeksiyon öncesi doku genişletme işlemlerinde hava kompresöründen yararlanılmıştır. Mezbahadan alınan taze akciğer-trakea kompleksleri laboratuvara getirilerek makroskobik kontrolden geçirilmiştir. *Trachea*, *bifurcatio trachea*'nın yaklaşık 5-8 cm cranial'inden kesilerek serbestleştirilmiştir. Solunum yollarındaki mukus, kan ve kalıntıların uzaklaştırılması amacıyla trakea içerisine uygun çapta bir kanül yerleştirilmiş ve ipek iplikle cerrahi olarak sabitlenmiştir. Kanül vasıtasıyla bronş ağacına düşük basınçlı ılık çeşme suyu verilerek akciğerlerin doğal formunda şişmesi sağlanmış, ardından su geri boşaltılarak yıkama işlemi berrak sıvı elde edilinceye kadar tekrarlanmıştır. Ön temizliği biten akciğerler, fazla suyun uzaklaştırılması için paslanmaz çelik askılara asılarak oda sıcaklığında süzölmeye bırakılmıştır.

Kast tekniğinde tarih boyunca lateks, polyester ve selüloz gibi malzemeler kullanılmışsa da günümüzde en yüksek başarı oranına Metil Metakrilat (MMA) tabanlı akrilik polimerlerle ulaşılmaktadır (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992). Sıvı monomer formundaki MMA, son derece düşük bir viskoziteye sahiptir; bu sayede en ince segmental bronşlara ve terminal bronşiyollere kadar kesintisiz ilerler (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992; Nakakuki S. 1993). Katalizör ve aktivatör ajanlarla oda sıcaklığında başlatılan polimerizasyon reaksiyonu, boyutsal kararlılığı yüksek, büzülme oranı minimum düzeyde akrilik bir yapı üretir (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992; Tompsett, 1970). Polimerize MMA, maserasyonda kullanılan güçlü alkali solüsyonlara karşı tam kimyasal direnç gösterir (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992; Tompsett, 1970).

Polimerizasyon sonrası yumuşak dokuların uzaklaştırılması işleminde Potasyum Hidroksit (KOH) gibi güçlü alkali ajanlar, proteinlerin peptit bağlarını hidrolize ederek ve hücresel lipidleri sabunlaştırarak çözünür hale getirir (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992;). Alveol

duvarları, plevra ve damar yatakları sıvı bir çamur formuna dönüşürken alkaliye dirençli MMA kalıbı korunur; düşük basınçlı su banyoları neticesinde geriye anatomik dallanma açıları bozulmamış temiz bir bronş ağacı modeli kalır (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992; Nakakuki S. 1993).

2.1.Geleneksel (Doğal Hacimde) Metil Metakrilat Enjeksiyonu

Monomerik metil metakrilat sıvı formu, üretici talimatları doğrultusunda katalizör bileşeni ile karıştırılarak enjeksiyon viskozitesine getirilmiştir. Hazırlanan akrilik karışım, trakeal kanül aracılığıyla, akciğerler doğal sönük/yarı sönük halindeyken, manuel enjektör yardımıyla yavaş ve homojen bir basınçla enjekte edilmiştir. Lob kenarları doluncaya ve enjeksiyon direncine ulaşıncaya kadar işleme devam edilmiştir. Kaçırları önlemek adına trakea kalın bir iplikle bağlanmış, ekzotermik reaksiyondan kaynaklı deformasyonları önlemek adına preparatlar oda sıcaklığında (21-23°C) 24 saat polimerizasyona bırakılmıştır.

2.2.Kompresör Destekli Pozitif Basınçlı Metil Metakrilat Enjeksiyonu

Bu aşamada, enjeksiyon öncesinde trakeal kanüle hava kompresörü bağlanarak akciğerler kontrollü pozitif basınç altında tamamen şişirilmiş ve tüm parankim alanlarının açılması sağlanmıştır. Hava boşaltıldıktan hemen sonra, hazırlanan akışkan MMA monomer karışımı, kanül vasıtasıyla enjekte edilmiştir. Kompresörün sağladığı alveolar genişleme sayesinde akrilik materyalin dirençle karşılaşmadan ilerlemesi hedeflenmiştir. Enjeksiyon tamamlandığında trakea klemplenerek bağlanmış ve polimerizasyon için oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir.

2.3.Lateks Enjeksiyonu

Sıvı lateks emülsiyonu kırmızı pigmentle homojen şekilde renklendirilmiş ve hava kabarcığı kalmayacak şekilde hafifçe karıştırılmıştır. Hazırlanan renkli lateks, trakeal kanül aracılığıyla yavaş ve sürekli bir basınçla manuel olarak enjekte edilmiştir. Enjeksiyon sırasında alveol rüptürlerinin önüne geçilmesi amacıyla aşırı basınç uygulamasından kaçınılmıştır. Trakea cerrahi düğümle bağlandıktan sonra lateksin parankim içinde koagüle olması ve su fazını kaybederek elastik kauçuk yapıya dönüşmesi amacıyla preparatlar oda sıcaklığında 24-48 saat hava sirkülasyonlu ortamda bekletilmiştir.

2.4.Korozyon (Maserasyon) Süreci

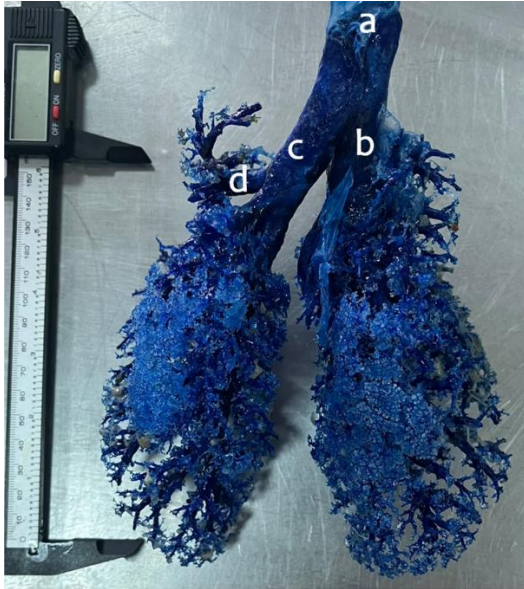
Polimerizasyon ve katılaşma süreçleri tamamlanan tüm akciğer preparatları (MMA ve Lateks grupları), korozyon işlemine tabi tutulmak üzere %20'lik Potasyum Hidroksit (KOH) solüsyonu içeren geniş kaplara tamamen daldırılmıştır. Kimyasal erimenin takibi günlük olarak yapılmış, yumuşayan ve sıvılaşan parankim dokularını uzaklaştırmak amacıyla preparatlar periyodik olarak düşük basınçlı ılık su altında yıkanmıştır. Organik dokuların tamamen uzaklaşması için örnekler 48-72 saat boyunca alkali banyosunda tutulmuştur.

2.5. Temizleme ve Kurutma

Maserasyon süreci tamamlanan 3B bronş ağacı kalıpları, alkali kalıntılarından arındırılmak üzere distile su banyolarından geçirilmiştir. Son derece hassas ve kırılgan yapıda olan korozyon kast modelleri, oda sıcaklığında kurumaya bırakılmıştır. Bazı numunelerin kurutulma ve gözenek temizliği süreçlerinde kompresörün düşük basınçlı hava üfleme fonksiyonundan yararlanılmıştır. Kurutulan 20 adet model; *trachea*, *bronchus principalis dexter/sinister*, lobar ve segmental dallanma mimarileri yönünden morfolojik incelemeye hazır hale getirilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Korozyon kast tekniği uygulamaları sonucunda, koyun akciğer trakeobronşiyal sistemine ait yüksek çözünürlüklü 3B modeller başarıyla elde edilmiştir. Yapılan makroskobik ve morfometrik incelemelerde, enjeksiyon materyalleri ve uygulanan teknik yöntemler arasında kast kalitesi yönünden istatistiksel ve görsel açıdan belirgin farklar saptanmıştır (Şekil 1).



Görsel 1. Korozyon kast uygulanmış, kompresör destekli şişirilmiş akciğer.

Kompresör Destekli MMA Enjeksiyon Bulguları: Kompresör yardımıyla önceden şişirilmiş ve kurutulmuş akciğerlere uygulanan MMA enjeksiyonlarında, akrilik polimerin düşük viskozitesinin de etkisiyle bronş ağacının en uç distal segmentlerine, *bronchiolus*'lara ve terminal yapılara kadar kesintisiz şekilde ilerlediği gözlenmiştir (Şekil 1, Şekil 4). Elde edilen kastlar oldukça yoğun, dallanma geometrisi eksiksiz ve kırılmaya karşı mukavemetli bir mimari sergilemiştir.

Geleneksel (Kompresörsüz) MMA Enjeksiyon Bulguları: Akciğerler şişirilmeden doğrudan yapılan manuel MMA enjeksiyonlarında, materyalin ince bronş dallarına ve distal parankime ulaşamadığı, enjeksiyonun sadece ana ve lobar bronş düzeyinde sınırlı kaldığı tespit edilmiştir

(Şekil 3, Şekil 5). Bu durum, parankim içi fitri direncin ve kollaps halindeki hava yollarının düşük viskoziteli materyalin bile ilerlemesini engellediğini göstermiştir.

Lateks Enjeksiyon Bulguları: Lateks emülsiyonu ile hazırlanan preparatlarda, malzemenin yüksek moleküler yapısı ve viskozitesi nedeniyle distal kısımlara ilerleyemediği, maserasyon sonrasında sadece büyük çaplı ana bronşların kalıbının çıktığı ve uç dalların tamamen eksik kaldığı saptanmıştır (Şekil 2). Ayrıca lateks kastların elastik yapısı, ince dalların uzaysal konumunu korumada yetersiz kalmıştır.

Spesifik Anatomik Bulgular: İncelenen tüm koyun akciğer kalıplarında, ruminant karakteristiği olan *bronchus trachealis*'in varlığı net olarak ortaya konulmuştur. Bu trakeal bronşun, *bifurcatio trachea*'nın ortalama 3.8-4.5 cm cranial'inden ve trakeanın sağ lateral yüzeyinden bağımsız bir kök olarak ayrıldığı, öne ve sağa doğru yönelerek *lobus cranialis dexter*'i (*pars cranialis* ve *pars caudalis*) tamamen domine ettiği anatomik olarak doğrulanmıştır (Şekil 4, Şekil 5). İncelenen preparatların hiçbirinde bifurcatio seviyesinde veya lobifikasyon şemasında anomali bir varyasyona rastlanmamıştır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Trakeobronşiyal ağacın 3B anatomik organizasyonunun ve dallanma modelinin aslına uygun olarak haritalandırılması, veteriner anatomi eğitimi ve kliniği açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle ruminantlar gibi solunum sistemi hastalıklarına (örneğin plöropnömoni) yatkın canlılarda, segmental bronş organizasyonunun bilinmesi patolojik lezyonların lokalizasyon tespiti açısından değerlidir (Dyce et al., 2010).

Bu çalışmada elde edilen bulgular, korozyon kast tekniğinin içi boşluklu organ mimarisini somutlaştırmadaki üstünlüğünü ortaya koyan literatür verileriyle tam bir uyum içerisinde (Aharinejad & Lametschwandtner, 1992; ; Tompsett, 1970). Metil metakrilat (MMA) polimerinin düşük viskozitesi ve alkali maserasyona karşı gösterdiği yüksek direnç, koyun bronşiyal dallanmalarının mikro düzeyde dahi hatasız kalıplanmasını sağlamıştır (Nakakuki S. 1993). Ancak çalışmamızda ortaya konulan en kritik metodolojik bulgu; enjeksiyon öncesi kompresör yardımıyla pozitif basınç uygulanmasının, parankimal kollapsı engelleyerek MMA'nın terminal bronşiyollere ulaşmasında zorunlu bir basamak olduğunun belirlenmesidir. Kompresör kullanılmayan veya yüksek viskoziteli lateks tercih edilen gruplarda distal dallanmaların elde edilememesi, Tompsett (1970) ve Aharinejad (1992)'in hidrolik basınç ve viskozite dengesine dair bildirimlerini doğrulamaktadır.

Koyunlarda *bronchus trachealis*'in varlığı ve konumu üzerine yapılan çalışmalarda (Özüdoğru & Özdemir, 2019; Nakakuki, 1993), bu yapının sağ cranial lobu havalandırdığı ve trakeadan direkt ayrıldığı belirtilmiştir. Çalışmamızda 20 preparatın tamamında trakeal bronşun izlenmesi ve varyasyon göstermemesi, küçük ruminantlarda bu yapının sabit bir morfolojik karakter olduğunu ve cerrahi/endoskopik girişimlerde mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini bir kez daha kanıtlamıştır.

Bu çalışmada, koyun akciğerlerinde bronş ağacı korozyon kast tekniği kullanılarak başarılı bir şekilde üç boyutlu olarak modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda şu genel yargılara varılmıştır:

1. Metil metakrilat (MMA) materyalinin, enjeksiyon öncesi kompresör yardımıyla pozitif basınç altında şişirilmiş akciğerlere uygulanması, distal bronşiyal sistemin ve mikroskobik dallanma geometrisinin aslına uygun elde edilmesinde en efektif kombinasyondur.
2. Hava kompresörü desteği olmadan yapılan MMA uygulamaları ile lateks enjeksiyonları, hava yollarındaki fitri rezistansı aşamayarak yetersiz ve eksik kast modelleri üretmektedir.
3. Koyun trakeobronşiyal anatomisinde *bronchus trachealis*, sağ cranial lob ventilasyonunu sağlayan invariant (değişmez) bir makromorfolojik yapıdır.
4. Elde edilen yüksek çözünürlüklü 3B akrilik modellerin, sadece veteriner fakültelerinin anatomi anabilim dalı laboratuvarlarında ve müzelerinde kalıcı eğitim materyali olarak kullanılması değil, aynı zamanda ilk ve ortaöğretim seviyesindeki gençlerin biyoloji ve anatomiye olan ilgisini artırmak adına bilim merkezlerinde sergilenmesi için de son derece uygun ve ufuk açıcı nitelikte olduğu kanaatine varılmıştır.

KAYNAKÇA

Aharinejad, S., & Lametschwandtner, A. (1992). *Microvascular corrosion casting in scanning electron microscopy*. Springer-Verlag.

Nakakuki S. The bronchial tree and lobular division of the horse lung. J Vet Med Sci. 1993 Jun;55(3):435-8. doi: 10.1292/jvms.55.435. PMID: 8357916.

Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G. (2010). *Textbook of veterinary anatomy* (4th ed.). Saunders Elsevier.

Getty, R. (1975). *Sisson and Grossman's the anatomy of the domestic animals* (5th ed.). W. B. Saunders Company.

International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature (ICVGAN). (2017). *Nomina Anatomica Veterinaria* (6th ed.). Editorial Committee.

Özüdoğru, Z. & Özdemir, H. (2019). A macroanatomic study on broncho-pulmonary segmentation in Hasak sheep. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 7(12), 2223-2226. doi.org

König, H. E., & Liebich, H. G. (2020). *Veterinary anatomy of domestic animals: Textbook and color atlas* (7th ed.). Georg Thieme Verlag.

Mariassy, A. T., & Plopper, C. G. (1983). Tracheobronchial epithelium of the sheep: I. Quantitative light microscopic study of epithelial cell types, and distribution. *The Anatomical Record*, 205(3), 263-275. <https://doi.org/10.1002/ar.1092050308>

Nakakuki, S. (1993). The bronchial tree and lobular division of the sheep lung. *Journal of Veterinary Medical Science*, 55(3), 425-429. <https://doi.org/10.1292/jvms.55.425>

Nakakuki, S. (1994). Bronchial tree, lobular division and blood vessels of the pig lung. *Journal of Veterinary Medical Science*, 56(4), 685-689. <https://doi.org/10.1292/jvms.56.685>

Nickel, R., Schummer, A., & Seiferle, E. (1979). *The viscera of the domestic mammals* (2nd ed.). Verlag Paul Parey.

Tompsett, D. H. (1970). *Anatomical techniques* (2nd ed.). E. & S. Livingstone.

**KOYUN RUMEN MUKOZASINDAKİ PAPİLLALARIN FARKLI KÖR
KESELERDE (SACCI) MAKROSKOBİK OLARAK HARİTALANMASI VE
YOĞUNLUK HESABI**

Raif ACAR

Balıkesir Üniversitesi

raifacar5@gmail.com 0009-0007-3459-0781

Prof.Dr.Şükrü Hakan ATALGIN

² Balıkesir Üniversitesi

sukruhakan@balikesir.edu.tr 0000-0001-9436-6270

ÖZET

Bu çalışmada, Merinos ırkı koyun rumen mukozasındaki papillaların farklı kör keseler (sacci) ve pılar bölgeler (Pila Ruminis) bazında makroskobik dağılımı, birim alandaki dansitesi ve boyut varyasyonlarının kantitatif olarak haritalanması amaçlanmıştır. Araştırmada Balıkesir yöresindeki yerel mezbahalardan taze olarak temin edilen, 10 aylık ve sağlıklı koyunlara ait bütüncül rumen materyalleri kullanılmıştır. Rumen kompartımanları diseke edilerek temizlendikten sonra; *saccus caecus caudodorsalis*, *saccus caecus caudoventralis*, *saccus dorsalis*, *saccus caecus cranioventralis*, *pila ruminis dextra* ve *pila ruminis sinistra* bölgelerinden standart mukozal kesitler alınmış, morfometrik ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Yapılan makroskobik haritalama ve dansite analizleri sonucunda papilla dağılımının rumen genelinde belirgin bir heterojenlik sergilediği saptanmıştır. Bölgeler bazında elde edilen veriler şu şekildedir: *Saccus caecus caudodorsalis*: Genel yüzey alanı 16×9 cm olarak ölçülmüş; odak alanlarında cm² başına 44, 58 ve 70 adet papilla tespit edilirken, papilla vertikal uzunluklarının 0,4 cm ile 0,6 cm arasında değiştiği belirlenmiştir. *Saccus caecus caudoventralis*: Genel yüzey alanı 15×10 cm olarak saptanmış; cm² düzeyindeki sayımlarda 41, 57 ve 67 adet papilla ruminis sayılmış, papilla boyları ise 0,5 cm ile 0,6 cm arasında ölçülmüştür. *Saccus dorsalis*: Gaz fazıyla temas eden bu bölgenin kesit alanı 12×9 cm olup, cm² başına 23, 28 ve 40 adet ile en düşük papilla yoğunluğuna sahip olduğu, papilla uzunluklarının ise 0,3-0,5 cm bandında kaldığı müşahade edilmiştir. *Saccus caecus cranioventralis*: 10×7 cm yüzey alanına sahip bu bölgede, odak alanlarında cm²'de 44, 48 ve 97 adede kadar ulaşan yüksek bir dansite ile 0,6-1,1 cm arasında değişen uzun papilla formları kaydedilmiştir. *Pila ruminis dextra* çevresi: 7×7 cm yüzey alanında cm² başına 62, 64 ve 69 adet yoğun papilla kümelenmesi ve 0,7-1,1 cm vertikal uzunluk değerleri ölçülmüştür. *Pila ruminis sinistra* çevresi: 8×7 cm yüzey alanında cm² başına 53, 57 ve 74 adet papilla dansitesi ile 0,5-0,8 cm uzunluk varyasyonları saptanmıştır.

Elde edilen morfolojik bulgular, rumen içerisindeki sıvı fazın ve fermente gıdaların yoğunlaştığı ventral ve kranyoventral kör keselerin, gaz fazına maruz kalan dorsal bölgelere kıyasla papilla yoğunluğu ve vertikal uzunluk açısından ileri derecede fazla bir gelişim gösterdiğini ortaya koymuştur. Sonuç olarak, kör keselerin makroskopik haritalaması, rumen mukozasının emilim yeteneklerine göre adapte olduğunu kanıtlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Koyun, makroskopik haritalama, papillae ruminis, rumen, sacci.

1.GİRİŞ

Ruminantların sindirim sistemi anatomisi, bitkisel kaynaklı kaba yemlerin içerdiği selüloz ve gibi kompleks polisakkaritlerin hidroliz edilerek enerjiye dönüştürülmesini sağlayacak şekilde özelleşmiştir. Bu sistemin en büyük ve en önemli kompartımanını oluşturan rumen (işkembe), kaba yemlerin mikrobiyal fermentasyonunun gerçekleştiği, anaerobik mikroorganizmalar için ideal bir ortam sunan ve uçucu yağ asitlerinin (UYA) emilimini yöneten dinamik bir organdır.

Rumen mukozası, bu fermentasyon süreçleri neticesinde açığa çıkan propiyonat, bütirat ve asetat gibi kısa zincirli yağ asitlerinin absorpsiyon yüzeyini maksimize etmek amacıyla “papilla ruminis” adı verilen çok sayıda anatomik projeksiyona sahiptir. Makroskopik olarak yapraksı, dil benzeri veya konik morfolojide gözlenebilen bu papillalar, rumen’in iç yüzey alanını yaklaşık 22 katına kadar artırarak metabolik absorpsiyon kapasitesini en üst düzeye çıkarmaktadır. Rumen duvarı katmanlarından tunica mukoza üzerinde şekillenen papillalar, çok katlı yassı keratinize epitel ile kaplı olup; stratum bazale, stratum spinosum, stratum granulosum ve stratum korneum tabakalarından oluşan hücresel organizasyonu sayesinde hem pasif bir bariyer hem de aktif bir transport merkezi görevi üstlenir (Dursun, 2008; König ve Liebich, 2021; Dyce ve ark., 2010).

Koyun rumeni makroskopik olarak homojen bir kese olmayıp, dış yüzeydeki sulcuslar ve iç yüzeydeki piller (sütunlar) vasıtasıyla kranial, dorsal, ventral, kaudodorsal kör kese ve kaudoventral kör kese gibi bölgelere ayrılır. Koyun rumeni, en büyük ön-mide kompartımanı olup, kaba yemlerin mikrobiyal fermentasyonu ve uçucu yağ asitlerinin (UYA) üretimiyle hayvanın enerjisinin büyük bir kısmını karşılar. Rumen yüzeyi çok sayıda papilla ile kaplı olup, toplam papilla sayısı bir rumende yaklaşık 90 bin civarındadır ve bu sayede yüzey alanı çok artmaktadır (Makanya ve ark., 2020). Rumen duvarı dıştan içe tunica serosa, tunica muskularis, tunica submucosa ve tunica mukoza katmanlarından oluşur; mukozadaki papillalar çok katlı yassı keratinize epitel ile kaplıdır ve farklı keselerde morfolojileri değişerek emilim yüzeyini artırır. Epitel; stratum bazale, spinosum, granulosum ve korneum olmak üzere dört tabakadan oluşur (Makanya ve ark., 2020; Yuan ve ark., 2022).

Rumen içerisindeki sıvı-gaz katmanlaşması, gıdanın hidrolik hareketleri ve lokal UYA konsantrasyonları, organın farklı bölgelerinde farklı mekanik ve kimyasal uyarılara yol açar. Bu durum, papilla yoğunluğunun ve morfolojisinin rumen genelinde heterojen bir dağılım göstermesine neden olmaktadır. Özellikle rasyondaki kesif yem oranına bağlı olarak gelişen propiyonik ve bütirik asit stimülasyonu ile lokal anatomik konum, papillaların birim alandaki dansitesini ve vertikal uzunluklarını doğrudan regüle etmektedir. Rumen papillalarının birim

alandaki yoğunluğu ve makroskobik dağılımı sabit olmayıp multifaktöriyel bir regülasyona tabidir; bu faktörlerin başında hayvanın beslenme rejimi ve rasyondaki kaba/kesif yem oranı gelmektedir. Kesif yem ağırlıklı beslemede açığa çıkan yüksek propionat ve bütirat konsantrasyonları, papilla proliferasyonunu ve yoğunluğunu artırıcı etki gösterir. Rumen içindeki pilor ve kör keselerin (sacci) hidrodinamik yapısı, içeriğin sürtünme kuvveti ve lokal UYA konsantrasyon farklılıkları, dorsal ve ventral kör keseler arasında papilla yoğunluğu ve haritalanmasında belirgin varyasyonlara yol açmaktadır.

Literatürde koyun rumeninin genel histolojik yapısı ve toplam papilla kapasitesi üzerine stereolojik çalışmalar bulunmakla birlikte, farklı kör keselerdeki (sacci) ve pılar hatlardaki (Pila Ruminis) makroskobik papilla dağılımının kantitatif olarak haritalanması hususunda daha detaylı bölgesel verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu araştırmanın amacı, Merinos ırkı koyunlarda rumen mukozasında yer alan papillaların *saccus caecus caudodorsalis*, *saccus caecus caudoventralis*, *saccus dorsalis*, *saccus caecus cranioventralis* ile *pila ruminis dextra* ve *pila ruminis sinistra* gibi farklı anatomik alt bölgelerdeki makroskobik dağılımlarını kantitatif olarak haritalamak, birim alandaki (cm²) sayısal yoğunluklarını (dansite) hesaplamak ve vertikal uzunluk varyasyonlarını belirleyerek organın segmental emilim kapasitesine ışık tutmaktır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Balıkesir yöresindeki yerel mezbahalardan kesim sonrası taze olarak temin edilen, 10 aylık, Merinos ırkı ve ortalama 65 kg canlı ağırlığa sahip sağlıklı koyunlardan elde edilen toplam 3 adet bütün rumen materyali kullanılmıştır. Kronik ön-mide hastalığı veya mukozal lezyonu olan organlar çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Makroskobik diseksiyon ve haritalama süreçlerinde; diseksiyon setleri (bisturi, pens, makas), yıkama ve dijital kumpas kullanılmıştır. Araştırma kapsamında, Merinos koyununa ait rumen dokularının diseksiyonu, makroskobik muayenesi ve papilla örnekleme aşamalarında cerrahi ve laboratuvar standartlarına uygun ekipmanlar kullanılmıştır. Nekropsi veya kesim sonrası bütünsel olarak ekstirpasyonu sağlanan ön midelerden rumen organının izolasyonu ve ardından belirlenen anatomik bölgelerden (*saccus dorsalis*, *saccus caecus caudodorsalis*, *saccus caecus caudoventralis*, *saccus caecus cranioventralis*, *pila ruminis dextra* ve *pila ruminis sinistra*) mukozal kesitlerin alınması aşamalarında cerrahi bistüri, bistüri sapı, diseksiyon pensi ve cerrahi makaslardan yararlanılmıştır. Kontaminasyon riskinin önlenmesi, biyogüvenlik protokollerinin sürdürülmesi ve laboratuvar hijyeninin sağlanması amacıyla tüm süreç boyunca tek kullanımlık steril cerrahi eldiven, tıbbi maske, laboratuvar önlüğü ve bone koruyucu ekipman olarak kullanılmıştır. İzole edilen ve morfometrik ölçümleri (yüzey alanı) tamamlanan mukoza örnekleri, hücresel ve dokusal bütünlüğün korunarak otolizin önlenmesi amacıyla fiksasyon standardı olan %5'lik formaldehit solüsyonu içeren sızdırmaz numune kaplarına alınmış ve analiz aşamasına kadar bu solüsyonda muhafaza edilmiştir.

Kesim salonunda gastrointestinal sistemin total olarak çıkarılmasını takiben, rumen kompartımanı özofagus ve omasum bağlantı noktalarından ligatür konularak izole edilmiştir. Organlar anatomik bütünlükleri korunarak ve soğuk zincir altında en kısa sürede anatomi

laboratuvarına nakledilmiştir. Laboratuvara getirilen rumenler, dorsal kurvatur boyunca insizyonla açılarak içerikleri tamamen boşaltılmıştır. Mukoza yüzeyindeki yem kalıntıları, papilla morfolojisine zarar vermeyecek şekilde tazyiksiz ılık çeşme suyu ile titizlikle yıkanmıştır. Temizlenen dokular, makroskobik ölçümler öncesinde doku büzülmesini önlemek adına uygun fiksatif solüsyonlar içinde veya taze olarak düz bir zemin üzerine serilerek diseksiyona hazır hale getirilmiştir. Koyun rumeni üzerindeki anatomik oluklar (sulcus) ve iç kısımdaki piller (pila) esas alınarak; kranial, dorsal, ventral keselerin yanı sıra çalışmanın ana odağını oluşturan kaudodorsal kör kese (*saccus caecus caudodorsalis*) ve kaudoventral kör kese (*saccus caecus caudoventralis*) sınırları makroskobik olarak belirlenmiş ve anatomik hatlar işaretlenmiştir. Belirlenen her bir kör keseden ve ana kompartımanlardan standardizasyonu sağlamak amacıyla belirli geometrik koordinatlarda (örneğin her kesenin merkezinden ve periferinden) haritalama şablonları oluşturulmuştur. Papilla yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla, haritalanan her bir kör keseden (sacci) 1 cm²'lik (10×10 mm) standart alanlar izole edilmiştir. Bu birim alana düşen toplam papilla sayısı manuel olarak sayılmış, ayrıca papillaların ortalama uzunluk ve genişlikleri dijital kumpas vasıtasıyla milimetrik olarak ölçülerek kaydedilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

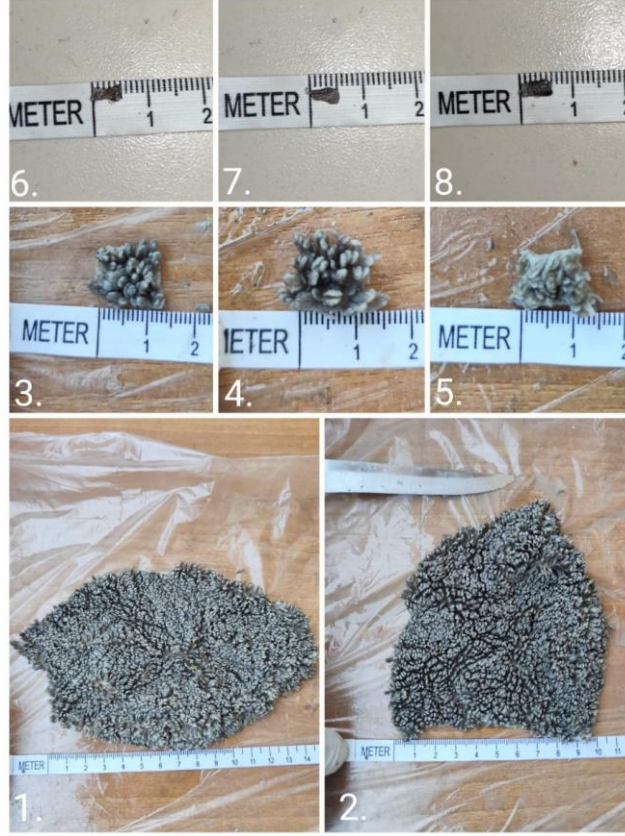
3.1.Bölgesel Morfometrik ve Dansite Bulguları

Bir Merinos koyununa ait rumen dokusunun *saccus caecus caudodorsalis* bölgesinden alınan makroskobik kesitler üzerinde morfometrik ve dansite analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemelerde, değerlendirilen rumen doku örneğinin genel yüzey alan boyutları 16×9 cm (Şekil 1) olarak ölçülmüştür. Bu bölgedeki papilla yoğunluğunu (dansite) belirlemek amacıyla santimetrekare (cm²) bazında yapılan sayımlarda heterojen bir dağılım gözlenmiş olup; farklı odak alanlarında sırasıyla santimetrekarede 44, 58 ve 70 adet *papilla ruminis* tespit edilmiştir. Papillaların vertikal uzunlukları incelendiğinde ise ölçülen örneklerde papilla boylarının sırasıyla 0,4 cm, 0,5 cm ve 0,6 cm olduğu kayıtlara geçmiştir.



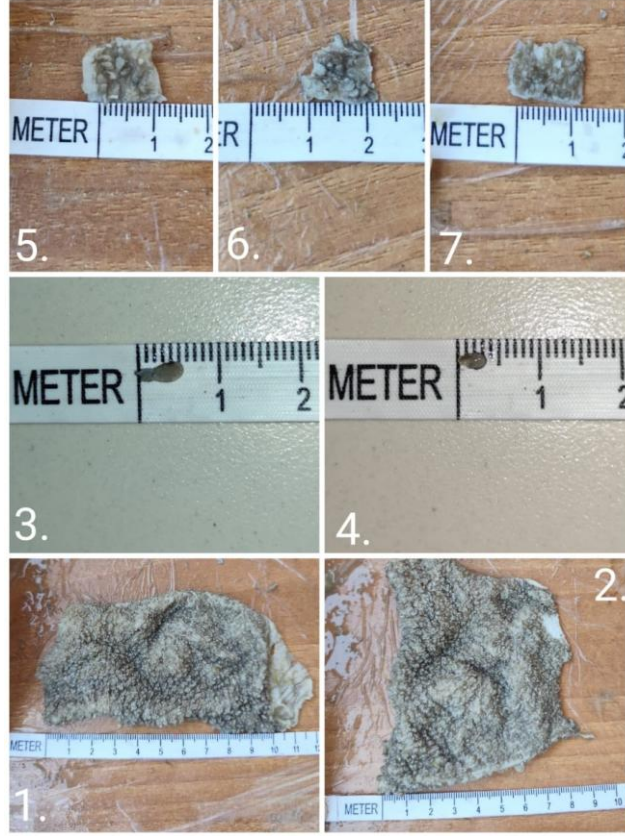
Görsel 1. Merinos koyununda rumende saccus caecus caudodorsalis bölgesi kesiti

Aynı Merinos koyununa ait rumen dokusunun *saccus caecus caudoventralis* bölgesinden alınan makroskopik örneklerde morfolojik ve yoğunluk analizleri tekrarlanmıştır. İncelenen doku kesitinin genel yüzey alan boyutları 15×10 cm (Şekil 2) olarak ölçülmüştür. Santimetrekare (cm²) düzeyinde gerçekleştirilen sayımlarda; farklı odak alanlarında sırasıyla 41, 57 ve 67 adet *papilla ruminis* tespit edilmiştir. Bu bölgedeki papillaların vertikal uzunluk ölçümlerinde nispeten homojen bir dağılım dikkat çekmiş olup; papilla boylarının sırasıyla 0,5 cm, 0,5 cm ve 0,6 cm olduğu saptanmıştır.



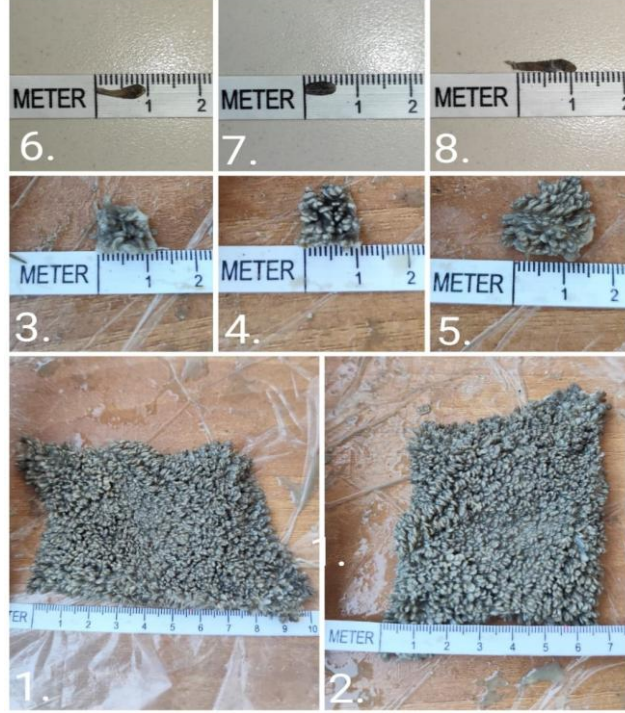
Görsel 2. Merinos koyununda rumende saccus caecus caudoventralis bölgesi kesiti

Merinos koyununa ait rumen dokusunun *saccus dorsalis* (dorsal rumen) bölgesinden alınan makroskopik örneklerde morfometrik ve dansite özellikleri incelenmiştir. Değerlendirilen dorsal rumen doku kesitinin genel yüzey alan boyutları 12×9 cm (Şekil 3) olarak ölçülmüştür. Santimetrekare (cm²) bazında gerçekleştirilen sayımlarda; farklı odak alanlarında sırasıyla 23, 28 ve 40 adet *papilla ruminis* tespit edilmiştir; bu bölge incelenen altı bölge arasında en düşük papilla yoğunluğuna sahiptir. Bu bölgedeki papillaların vertikal uzunluk ölçümlerinde papilla boylarının sırasıyla 0,3 cm ve 0,5 cm olduğu saptanmıştır.



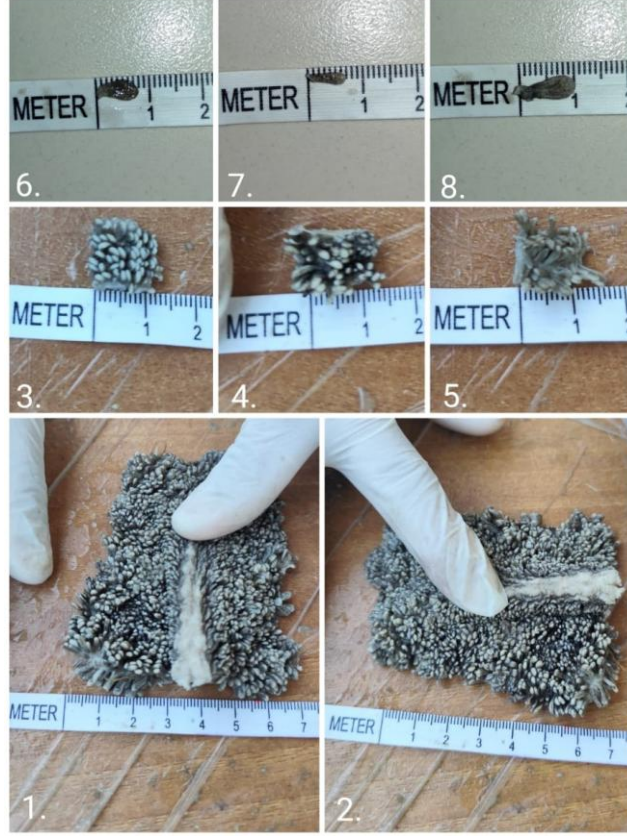
Görsel 3. Merinos koyununda rumende dorsal bölge kesiti

Merinos koyununa ait rumen dokusunun *saccus caecus cranioventralis* bölgesinden alınan makroskopik kesitler üzerinde morfometrik ve dansite analizleri yürütülmüştür. İncelenen kranyoventral kör kese doku örneğinin genel yüzey alan boyutları 10×7 cm (Şekil 4) olarak ölçülmüştür. Santimetrekare (cm²) bazında gerçekleştirilen sayımlarda; farklı odak alanlarında sırasıyla 44, 48 ve 97 adet *papilla ruminis* tespit edilmiştir; bu bölge incelenen altı bölge arasında en yüksek papilla yoğunluğuna sahiptir. Bu bölgeden seçilen papillaların vertikal uzunluk ölçümlerinde papilla boylarının sırasıyla 0,6 cm, 1,0 cm ve 1,1 cm olduğu saptanmıştır.



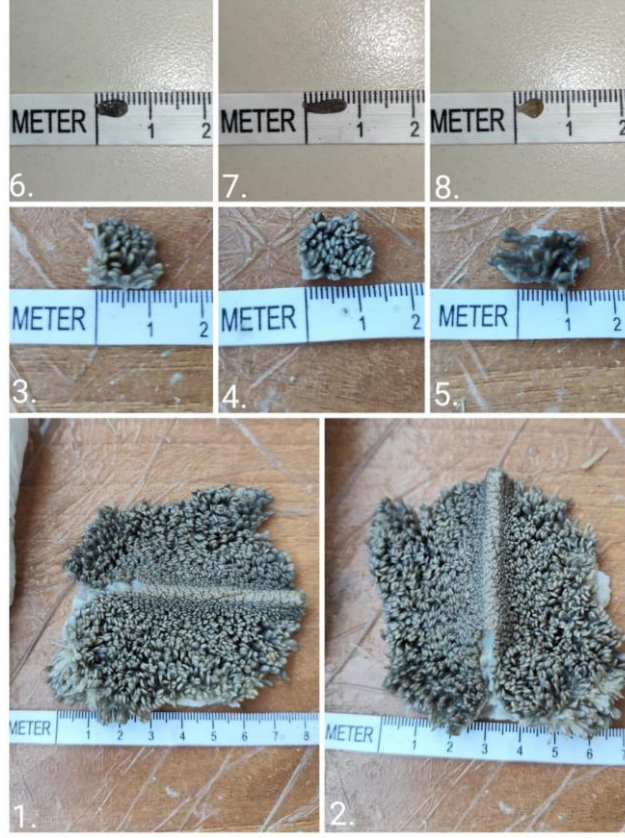
Görsel 4. Merinos koyununda rumende saccus caecus cranioventralis bölgesi kesiti

Merinos koyununa ait rumen dokusunun *pila ruminis dextra* (sağ rumen sütunu) bölgesi ve yakın çevresindeki mukoza tabakası üzerinde morfometrik ve dansite analizleri yürütülmüştür. İncelenen doku kesitinin genel yüzey alan boyutları 7×7 cm (Şekil 5) olarak ölçülmüştür. Santimetrekare (cm²) bazında gerçekleştirilen sayımlarda; farklı odak alanlarında sırasıyla 62, 64 ve 69 adet *papilla ruminis* tespit edilmiştir. Bu bölgeden seçilen papillaların vertikal uzunluk ölçümlerinde papilla boylarının sırasıyla 0,7 cm, 0,8 cm ve 1,1 cm olduğu saptanmıştır.



Görsel 5. Merinos koyununda rumende pila ruminis dextra çevresi kesiti

Merinos koyununa ait rumen dokusunun *pila ruminis sinistra* (sol rumen sütunu) bölgesi ve çevresindeki mukoza tabakası üzerinde morfometrik ve dansite analizleri gerçekleştirilmiştir. İncelenen sol pılar hat (Pila Ruminis) doku kesitinin genel yüzey alan boyutları 8×7 cm (Şekil 6) olarak ölçülmüştür. Santimetrekare (cm²) bazında gerçekleştirilen makroskobik sayımlarda; farklı odak alanlarında sırasıyla 53, 57 ve 74 adet *papilla ruminis* tespit edilmiştir. Bu bölgeden seçilen papillaların vertikal uzunluk ölçümlerinde papilla boylarının sırasıyla 0,5 cm, 0,6 cm ve 0,8 cm olduğu saptanmıştır.



Görsel 6. Merinos koyununda rumende pila ruminis sinistra çevresi kesiti

Çizelge 1. Bölgelere göre yüzey alanı, papilla yoğunluğu ve vertikal uzunluk ölçüm sonuçları

ANATOMİK BÖLGELER	YÜZEY ALANI	DANSİTE(adet/cm ²)	ORTALAMA UZUNLUK(cm)
Saccus-Seccus Caudodorsalis	16 x 9 cm	44, 58, 70	0.52 cm
Saccus-Seccus Caudovernalis	15 x 10 cm	41, 57, 67	0.56 cm
Regio Dorsalis	12 x 9 cm	23, 28, 40	0.43 cm
Saccus Seccus Cranioventralis	10 x 7 cm	44, 48, 97	0.85 cm
Pila Ruminis Dextra	7 x 7 cm	62, 64, 69	0.94 cm
Pila Ruminis Sinistra	7 x 8 cm	53, 57, 74	0.65 cm

3.2.Papillaların Bölgesel Dağılımı

Koyun rumen mukozası bütünüyle incelendiğinde, papillaların homojen bir dağılım göstermediği, fonksiyonel gereksinimlere bağlı olarak belirli bölgelerde kümелendiği müşahade edilmiştir. Papillaların en yoğun ve uzun formlarının sıvı akışının ve absorpsiyonun

dinamik olduğu ventral bölgelerde yoğunlaştığı, dorsal kısma doğru gidildikçe ise hem boyutsal olarak küçüldükleri hem de seyrekleştikleri tespit edilmiştir.

Kaudodorsal ve kaudovertral kör keseler (sacci) bazında yapılan birim alan (1 cm²) sayımlarında belirgin yoğunluk farkları ortaya konmuştur. Kaudovertral kör kesedeki ortalama papilla yoğunluğunun, kaudodorsal kör keseye kıyasla belirgin derecede yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca ventral kör kesedeki papillaların daha yapraksı ve geniş yüzeyli olduğu, dorsal kör kesedekilerin ise daha konik ve kısa yapı sergilediği sayısal verilerle doğrulanmıştır.

Elde edilen veriler doğrultusunda oluşturulan makroskobik haritada, koyun rumeninin kaudal emilim merkezleri net bir şekilde görselleştirilmiştir. Haritalama verileri, rumen içindeki gıda katmanlaşması (gaz, hafif kaba yem ve yoğun sıvı fazı) ile papilla haritasının tam bir uyum içerisinde olduğunu ve kör keselerin kendilerine has hidrolik basınçlarına göre morfolojik bir yerleşim düzenine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen koyun rumen mukozasındaki papilla dağılımı ve yoğunluk haritalama verileri, literatürdeki morfolojik ve stereolojik bulgularla büyük oranda paralellik göstermektedir. Makanya ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, koyun rumeninde toplam papilla sayısının yaklaşık 90 bin civarında olduğu ve bu yapıların yüzey alanını katlarca artırdığı bildirilmiştir; bizim çalışmamızda elde edilen yüksek yoğunluk verileri de bu total kapasiteyi destekler niteliktedir. Literatürde dorsal bölgelerin daha düşük papilla yoğunluğuna sahip olması, bu bölgelerin genellikle fermantasyon sonucu oluşan gaz fazı ile temas halinde olmasıyla açıklanmaktadır.

Kör keseler (sacci) özelinde bakıldığında, ventral kör keselerin dorsal kör keselere göre daha yoğun ve gelişmiş papillalar barındırması, Yuan ve ark. (2022) tarafından tek hücreli düzeyde yapılan fizyolojik çalışmalarıyla da uyumludur. Ventral keseler, sindirim stratejileri doğrultusunda mikrobiyal fermantasyon ürünlerinin ve UYA'ların (özellikle bütirat ve propionat) biriktiği ve en yoğun absorbe edildiği lokalizasyonlardır. Bu durum, makroskobik olarak tespit ettiğimiz hücresel ve morfolojik yoğunluk artışının fizyolojik nedenini açıkça ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, kör keselerin makroskobik haritalaması, organın segmental olarak farklı emilim yeteneklerine sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Bu çalışmada, koyun rumen mukozasındaki papillaların farklı kör keselerdeki (sacci) makroskobik dağılımı, yoğunluğu ve bölgesel haritası başarıyla ortaya konmuştur. Elde edilen sonuçlar, kaudovertral kör kesenin kaudodorsal kör keseye kıyasla papilla yoğunluğu ve emilim yüzeyi açısından anatomik olarak çok daha avantajlı ve aktif bir yapıda olduğunu göstermiştir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar için, makroskobik olarak haritalanan bu kör keselerdeki yoğunluk değişimleri, histolojik ve ultrastrüktürel (SEM) düzeyde de incelenerek epitelyal katmanların kalınlıkları ile ilişkilendirilmelidir. Farklı rasyon gruplarında (kaba yem vs. kesif yem) kör keselerdeki papilla yoğunluğunun moleküler adaptasyon hızları transkriptomik yöntemlerle araştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ahmed, R. S., Martens, H., & Muelling, C. (2013). Scanning electron microscopical and morphometrical studies on ruminal papillae of sheep fed on concentrates. *Journal of Animal Research*, 3(2), 111–123.
- Atalgın, Ş. H. (2025). Asidozdan Ölen Koyunlarda Rumen Papillalarının Taramalı Elektron Mikroskobik İncelenmesi. *Balıkesir Sağlık Bilimleri Dergisi*, 14 (1), 89-93. <https://doi.org/10.53424/balikesirsbd.1530905>
- Atalgın, Ş. H., Kürtül, İ., & Takçi, L. (2023). Stereomicroscopic and scanning electron microscopic observations of the forestomach mucosa of Akkaraman sheep fed with straw-concentrate diet. *Veterinaria*, 72(3), 302–311.
- Beauchemin, K., Eriksen, L., Nørgaard, P., & Rode, L. (2008). Salivary secretion during meals in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 2077–2081. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0726>
- Brownlee, A. (1956). The development of rumen papillae in cattle fed on different diets. *British Veterinary Journal*, 112, 369–375.
- Dursun, N. (2008). *Veteriner anatomi* (Cilt I–III). Medisan Yayınevi.
- Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G. (2010). *Textbook of veterinary anatomy* (4th ed.). Saunders Elsevier.
- Fanning, J. P., Hynd, P. I., & Cockcroft, P. D. (2018). The relative roles of the ruminal fluid and epithelium in the aetiology of ruminal acidosis. *Small Ruminant Research*, 162, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2018.03.005>
- Gäbel, G., Martens, H., Sündermann, M., & Galfi, P. (1987). The effect of diet, intraruminal pH and osmolarity on sodium, chloride and magnesium absorption from the temporarily isolated and washed reticulo-rumen of sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*, 72(4), 501–511. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.1987.sp003092>
- García, A., Masot, J., Franco, A., Gázquez, A., & Redondo, E. (2012). Histomorphometric and immunohistochemical study of the goat rumen during prenatal development. *The Anatomical Record*, 295(5), 776–785. <https://doi.org/10.1002/ar.22431>
- Hofmann, R. R. (1989). Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: A comparative view of their digestive system. *Oecologia*, 78(4), 443–457. <https://doi.org/10.1007/BF00378733>
- König, H. E., & Liebich, H.-G. (2021). *Veteriner anatomi: Evcil memeliler* (6. baskı, Türkçe baskı). Medipres Yayıncılık.
- Makanya, A., Mills-Thompson, A. N., Nguhiu-Mwangi, J., Oduma, J., & Ojoo, R. (2020). Morphometric and stereological methods for measuring gross structural parameters of

rumen tissues in sheep. *Journal of Veterinary Science & Medicine*, 8(1), 59–70.
<https://doi.org/10.1080/23144599.2020.1807817>

Yuan, Y., Sun, D.-M., Qin, T., Mao, S.-Y., Zhu, W.-Y., Yin, Y.-Y., Huang, J., Heller, R., Li, Z.-P., Liu, J.-H., & Qiu, Q. (2022). Single-cell transcriptomic landscape of the sheep rumen provides insights into physiological programming development and adaptation of digestive strategies. *Zoological Research*, 43(4), 634–647.
<https://doi.org/10.24272/j.issn.2095-8137.2022.086>

FORECASTING THE BIST 100 INDEX USING PSO-TRAINED DENDRITIC NEURON MODELS: A COMPARISON OF CAUCHY AND SIGMOID ACTIVATION FUNCTIONS

Öğr. Gör., Mete ÖZDEMİR

Giresun Üniversitesi,

mete.ozdemir@giresun.edu.tr - 0000-0003-0908-4311

ÖZET

BIST 100 endeksi gibi finansal zaman serileri, doğal piyasa dalgalanmaları barındıran oldukça değişken dinamiklere sahiptir. Geleneksel Dendritik Nöron Modelleri (DNM), soma katmanında genellikle bir sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanır; ancak bu fonksiyon, aşırı piyasa dalgalanmalarında doygunluk ve gradyan kaybolması sorunları yaşayabilir. Bu çalışmada, soma katmanındaki standart sigmoid fonksiyonunun, ağır kuyruklu yapısıyla bilinen Cauchy kümülatif dağılım fonksiyonu ile değiştirilerek daha sağlam bir aktivasyon alanı oluşturulabileceği hipotezi test edilmiştir. Bu doğrultuda, logaritmik getiriye dönüştürülmüş finansal veriler kullanılarak Cauchy tabanlı bir DNM ile klasik Sigmoid tabanlı bir DNM'nin tahmin performansı karşılaştırılmıştır. Analizde BIST 100 endeksinin 2 yıllık günlük kapanış fiyatları kullanılmış olup veriler AR(5) kayan pencere yöntemiyle yapılandırılarak eğitim, doğrulama ve test setlerine ayrılmıştır. Modeller, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritması ile 30 bağımsız koşu üzerinden eğitilmiştir. Analiz sonuçlarına göre her iki model de örneklem dışı verilerde yüksek tahmin doğruluğu elde etmiştir. Klasik DNM-Sigmoid ortalama 238.14 RMSE ve %1.236 MAPE değerlerine ulaşırken, önerilen DNM-Cauchy ortalama 238.26 RMSE ve %1.238 MAPE kaydetmiş ve standart modelin tahmin gücünü başarılı bir şekilde yansıtmıştır. Bulgular, Cauchy fonksiyonunun ağır kuyruklu yapısının modelin yapısal kararlılığını bozmadan piyasanın karmaşık dinamiklerini etkili şekilde modellediğini göstermektedir. Sonuç olarak, Cauchy tabanlı DNM, oldukça değişken finansal piyasaların tahmininde kullanılabilecek topolojik esnekliğe sahip, sağlam ve güvenilir bir alternatif sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : Dendritik Nöron Modeli, Cauchy Dağılımı, BIST 100 Endeksi, Finansal Zaman Serileri, Zaman Serisi Tahmini.

ABSTRACT

Financial time series, such as the BIST 100 index, inherently exhibit volatile dynamics and contain natural market fluctuations. Traditional Dendritic Neuron Models (DNMs) typically utilize a sigmoid activation function in the soma layer, which can suffer from saturation and gradient vanishing during extreme market shifts. We hypothesized that replacing the standard sigmoid function with a Cauchy cumulative distribution function, known for its heavy-tailed nature, could offer a more robust activation space. Therefore, this study compares the forecasting performance of a Cauchy-based DNM against a classical Sigmoid-based DNM using log-return transformed financial data. A dataset comprising two years of daily closing prices for the BIST 100 index was transformed into log-returns, structured using an AR(5) sliding window, and sequentially partitioned into training, validation, and testing sets. A Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm was employed to train both model variants across 30 independent runs. The results revealed that both models achieved exceptional forecasting accuracy on out-of-sample data. The classical DNM-Sigmoid yielded a mean RMSE of 238.14 and a MAPE of 1.236%, whereas the proposed DNM-Cauchy recorded a highly competitive mean RMSE of 238.26 and a MAPE of 1.238%. These findings demonstrate that the heavy-tailed nature of the Cauchy function successfully maps the complex dynamics of the BIST 100 index without degrading the model's structural stability. In conclusion, the Cauchy-based DNM stands out as a robust and reliable alternative, expanding the topological flexibility of neural network designs in predicting highly volatile markets.

Keywords: Dendritic Neuron Model, Cauchy Distribution, BIST 100 Index, Financial Time Series, Time Series Forecasting.