

CONFERENCE BOOK



TRAKYA ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



TRAKYA
1st INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JULY 10 – 12, 2026
EDİRNE

ISBN : 978-625-8795-30-1

ACADEMY GLOBAL PUBLISHING HOUSE





**TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JULY 10 – 12, 2026
EDIRNE**

Edited By
PROF. DR. HÜLYA ÇİÇEK

Issued: 15.08.2026
ISBN: 978-625-8795-30-1

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

In the conference 46 papers have been presented by Turkish participants and 56 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.

CONFERENCE ID

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES**DATE – PLACE****JULY 10 – 12, 2026****EDIRNE****ORGANIZATION****ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS****EVALUATION PROCESS****All applications have undergone a double-blind peer review process.****PARTICIPATING COUNTRIES**

Turkey – Egypt – Serbia- Eritrea- Germany- Nigeria- Iran- Georgia- Romania- Azerbaijan- Russia- India- Tajikistan- Singapore- Algeria- Bangladesh- Kazakhstan- **Oman**- Armenia- Thailand- Saudi Arabia- Malaysia-

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 : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran

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 - Uzbekistan
- 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 Afghani - 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 Tursunaliyeva - 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. Kuşunmaden – Türkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye

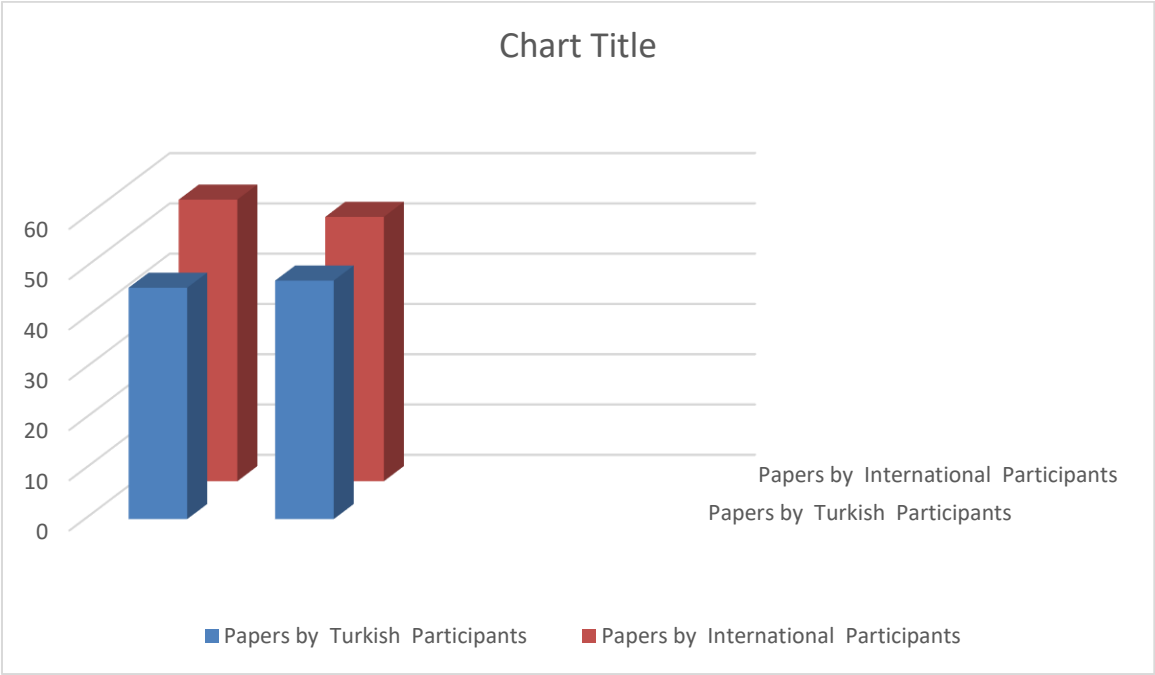
Dr. Ayşe Baran - Türkiye

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>	46	47,42
<i>Papers by International Participants</i> <i>(21 Countries)</i>	56	52,58





TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
JULY 10 – 12, 2026
EDİRNE

NO : AC- 1T - 2026. 350A– 3856

Konu : Akademik Teşvik Uygunluk Belgesi

10/08/2026

İLGİLİ MAKAMA

Academy Global Conferences tarafından düzenlenen **TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES** kongresi 10- 12 Temmuz 2026 tarihlerinde Edirne’de 22 farklı ülkeden akademisyenin katılımıyla gerçekleştirilmiştir. Kongre kapsamında sunulan 97 bildirinin 46’sı Türkiye’den, 56’sı ise farklı 21 ülkeden katılan akademisyenler tarafından sunulmuştur. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen “Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurt dışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışında en az beş farklı ülkeden sözlü tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır.” değişikliğine uygun olarak düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz ederiz

Saygılarımızla

Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı :E-98102723-903.07-475454

Konu :Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

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

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

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

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

Belge Doğrulama Kodu : *BSFN3RR3CF* Pin Kodu : 27962

Belge Takip Adresi : <https://turkiye.gov.tr/gaziantep-universitesi-ebys>

Adres : Gaziantep Üniversitesi Kampus Alanı, Tıp Fakültesi Dekanlığı, Şehitkamil - 27310 -
GAZİANTEP

Telefon : 0 (342) 360 60 60 Faks:0 (342) 360 16 17

e-Posta : tipfaksek@gmail.com Web : www.gantep.edu.tr/~tipdekanlik/bilgipaketi

Kep Adresi : gauntipdek@hs01.kep.tr

Bilgi için : Hüseyin Temel
Unvanı : Bilgisayar İşletmeni V.



TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
“Suyun Öte Yanı” 1ST INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
July 10 – 12, 2026
EDİRNE

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,

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN	1	AWARENESS, RISK FACTORS, AND PREVENTIVE APPROACHES TO URINARY INCONTINENCE DURING PREGNANCY: A DESCRIPTIVE REVIEW	Doç.Dr., Ayşe ÇUVADAR Yl. Öğr., Esra ŞEKERCİ
		2	THE EFFECT OF CONTINUOUS MIDWIFERY SUPPORT DURING LABOR ON MATERNAL AND NEONATAL OUTCOMES: A STRUCTURED REVIEW	Yl. Öğr., Nebiye Gül ŞENEL Doç. Dr., Ayşe ÇUVADAR
		3	Detection of Hepatitis C–Related Liver Diseases Using Routine Biochemical Tests: An Explainable Machine Learning Approach	Doç. Dr. Şeyma YAŞAR Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN,
		4	Machine Learning-Based Clinical Prediction Models: From Data Preparation to Model Validation	Doç. Dr. Şeyma YAŞAR Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN
		5	Explainable Machine Learning Prediction of Recurrence in Differentiated Thyroid Cancer: A Layered Model Comparison Along the Clinical Timeline	Doç. Dr. Şeyma YAŞAR Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN
		6	Avoiding Data Leakage in Health-Based Machine Learning Studies: Statistical Principles and Practical Recommendations	Doç. Dr. Şeyma YAŞAR Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Asst. Prof. Dr., Adem Avcu	1	DESIGN AND INVESTIGATION OF FUNCTIONALLY GRADED SHAPE MEMORY ALLOYS	Öğr. Gör. Dr. Ümit Zeybek
		2	MULTI-CRITERIA SELECTION OF ANIMAL-BASED NATURAL FIBER MATERIALS USING AN INTEGRATED GINI-COPRAS-MOORA-MARCOS FRAMEWORK	Asst. Prof. Dr., Adem Avcu
		3	A COMPARATIVE MCDM APPROACH FOR PLANT-BASED FIBER SELECTION IN COMPOSITE MATERIALS UNDER OBJECTIVE CRITERIA WEIGHTS	Asst. Prof. Dr., Adem Avcu
		4	A NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF ADDING OBSTACLES TO THE ABSORBER PLATE OF A SOLAR AIR HEATER EQUIPPED WITH A PCM UNIT	Ataollah KHANLARI
		5	FARKLI KÂĞIT TÜRLERİNİN TOPRAK ALTINDA BOZUNMA SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ	Reyhan TAVUKCU Dr. Öğr. Üyesi Hülya VARLIBAŞ BAŞBOĞA
		6	SICAKLIK FAKTÖRÜNE GÖRE ÇERÇEVESİZ VE ÇERÇEVELİ PV MODÜLLERİNİN ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	Mehmet KARA Doç. Dr., Mehmet Onur KARAAĞAÇ Prof. Dr., Alper ERGÜN
		7	KARABÜK ŞARTLARINDA BİR ISI POMPASININ KIŞ VE BAHAR DÖNEMİ ENERJİ TÜKETİM PROFİLİ VE EKONOMİK ANALİZİ	İsmail ARSUN Doç. Dr., Mehmet Onur KARAAĞAÇ Prof. Dr., Alper ERGÜN
		8	LMS ALGORİTMASI İLE MIMO SİSTEMDE DİNAMİK AKIŞ KONTROLÜ	Ergin Özkara Doç. Dr. İlhan Baştürk

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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. Koray Karabulut	1	EXPERİMENTAL INVESTIGATION ON THE FLEXURAL BEHAVIOR OF CARBON MESH-REINFORCED GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS CONTAINING STEEL FIBERS	Öğr. Gör. Serpil AĞIRMAN Mehmet ERDOĞAN Doç. Dr. Barış BAYRAK Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN
		2	DETERMINATION OF POZZOLANIC ACTIVITY OF BRICK AND AERATED CONCRETE WASTES USING THE FRATTINI TEST	Dr. Mine KURTAY YILDIZ
		3	HETEROJEN YEREL GEOTEKNİK ETÜT RAPORLARINDAN MAKİNE ÖĞRENMESİNE UYGUN SPT-N VERİ SETİ OLUŞTURULMASI: ORTAK ŞEMA VE KALİTE KONTROLÜ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Yiğitcan Boşnak Dr. Öğr. Üyesi, Emrah Dağlı
		4	ANALYSIS OF HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN MICRO-CHANNEL HEAT SINKS	Prof. Dr. Koray Karabulut Doç. Dr. Yeliz Alnak
		5	EVALUATION OF THE HYDROTHERMAL PERFORMANCE OF MULTI-PARTITIONED MICRO-CHANNEL HEAT SINKS	Doç. Dr. Yeliz Alnak Prof. Dr. Koray Karabulut
		6	THE EFFECT OF FOOD /MICROORGANISM (F/M) RATIO ON MICROORGANISM SPECIES/COMPOSITION IN AEROBIC PROCESSES	Şükrü Aslan
		7	ORGANIC LOADING RATE EFFECT ON ANAEROBIC TREATMENT OF WASTEWATERS	Şükrü Aslan

No: 2

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Dr. Gültekin Gürçay	1	AN OVERVIEW OF THE STRUCTURE AND ECONOMICS OF SHEEP FARMING IN TÜRKİYE	Yıldız KEN Prof. Dr. Sait ENGİNDENİZ
		2	TÜRKİYE’DE SON 10 YILDA ASPİR ÜRETİM VE DIŞ TİCARETİNDE ORTAYA ÇIKAN GELİŞMELER	Zir. Müh. İsmihan İmiş Prof. Dr. Nevin Demirbaş
		3	THE EFFECT OF THE BIPLLOT PROGRAM ON EARLY SELECTION IN BARLEY BREEDING STUDIES	Prof. Dr. Enver KENDAL
		4	THE EFFECT OF BARLEY GENOTYPES DEVELOPED FOR MODERATE RAINFALL REGIONS ON LOADING RATES AND INVESTIGATED TRAITS.	Prof. Dr. Enver KENDAL
		5	DETERMINATION OF MINERAL AND TOXIC ELEMENT CONTENTS OF DIFFERENT PARTS OF FARMED AND NATURAL SEA BASS GROWN IN THE AEGEAN AND THE BLACK SEA	Dr. Ayşegül KORKMA Dr. Assistant Professor Fatma Gökmen Yılmaz Assoc. Prof. Nurhan USLU Research Assistant Sevede Nur ÇATALTEPE Prof. Dr. Mehmet Musa ÖZCAN
		6	THE EFFECTS OF PHYSICAL AND BIOLOGICAL PROCESSES ON THE ELEMENT (MACRO, MICRO AND TOXIC ELEMENTS) CONTENTS OF RAW, GERMINATED AND DRIED LEGUME SEEDS	Dr. Ayşegül KORKMAZ Assoc. Prof. Nurhan USLU Research Assistant Sevede Nur ÇATALTEPE Prof. Dr. Mehmet Musa ÖZCAN
		7	TAÇ KONUMUNUN MUŞMULA (Mespilus germanica L.) MEYVELERİNDE KİMYASAL BİLEŞİM VE FİTOKİMYASAL ÖZELLİKLERDEKİ ROLÜ	Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN
		8	‘ÇAKILDAK’ VE ‘FOŞA’ FINDIK ÇEŞİTLERİNDE İÇ MEYVE BİYOMETRİK ÖZELLİKLERİ İLE BEYAZLAMA ORANLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ANALİZİ: KORELASYON VE TEMEL BİLEŞEN YAKLAŞIMI	Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN
		9	ERDEMLİ (MERSİN) İLÇESİNİN BAZI ODUN DIŞI ORMAN ÜRÜNLERİ VE YÖRESEL KULLANIMLARI	Orman Mühendisi, İkra DEMİREL Dr. Öğr. Üyesi Gamze TUTTU
		10	CULTIVATION OF SEAWEEDS AND SALICORNIA SPECIES IN EFFLUENT WATER FROM BIOFLOC INTEGRATED AQUACULTURE SYSTEMS	Engineer, Nima DADMEHR Assoc. Prof. Dr. Gamze TURAN

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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. Hasan Hüseyin Gül Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kocatürk	1	LOJİSTİK 4.0 VE DİJİTAL İKİZ UYGULAMALARINDA YAPAY ZEKÂ VE BLOKZİNCİR ENTEGRASYONU: DEĞER ZİNCİRİ ŞEFFAFLIĞI ÜZERİNE BİR KAVRAMSAL ÇERÇEVE	Tunahan POYRAZ Doç. Dr. Volkan YAVAŞ
		2	RAMA DAĞILIMININ BİLİNMEYEN PARAMETRESİNİN SIRALI KÜME ÖRNEKLEMESİ ALTINDA TAHMİNİ	Doç. Dr. Hasan Hüseyin Gül Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kocatürk
		3	EXPONENTIATED PARETO EXPONENTIAL DAĞILIMININ PARAMETRELERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE TAHMİNİ VE KARŞILAŞTIRILMASI	Doç. Dr. Hasan Hüseyin Gül Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kocatürk
		4	TÜRKİYE’DE YAPAY ZEKÂYA GÜVENİN SOSYO-DİJİTAL BELİRLEYİCİLERİ: YORUMLANABİLİR MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMI	Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kocatürk Doç. Dr. Hasan Hüseyin Gül
		5	YÜKSEKÖĞRETİMDE AKADEMİK BAŞARI VE OKUL TERK RİSKİNİN VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİYLE SINIFLANDIRILMASI	Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kocatürk Doç. Dr. Hasan Hüseyin Gül
		6	BEYİN TÜMÖRÜ ÇALIŞMALARINDA FEDERE ÖĞRENME YAKLAŞIMI	Araştırma Görevlisi, Duran DUMAN Doçent Doktor, Yasin KAYA Profesör Doktor, Serdar YILDIRIM
		7	TRADITIONAL INTERPOLATION APPROACHES AND BEZIER CURVE ESTIMATION MODEL COMPARISON AROUND JAPAN, CHINA, AND SOUTH KOREA COVID CASE	Dr. Emre Eroglu Nursena Eroglu
		8	THE NEURAL NETWORK ESTIMATION MODEL OF THE AP (nT) INDEX VIA GEOMAGNETIC STORMS	Dr. Emre Eroglu
		9	SOME NEW IDENTITIES FOR THE BI-PERIODIC PELL AND BI-PERIODIC PELL-LUCAS SEQUENCES	Doç. Dr. Şükran Uygun Abdullah Remmo
		10	ON NEW MIXED IDENTITIES AND PRODUCT FORMULATIONS FOR BI- PERIODIC PELL AND PELL-LUCAS SEQUENCES	Doç. Dr. Şükran Uygun Abdullah Remmo

No: 5

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Dr. Öğr. Üyesi Nurettin Gökşenli	1	A Binary Visual Entailment Study using a Visual Language Model (VLM) and Visual Question Answering (VQA) Pair	Asst. Prof. Dr., Alican DOĞAN Master's Student, Zeynep ÖZER
		2	Estimation of Structural Vibration Damping Parameter from Unidirectional Data Using Physics-Informed Neural Networks: A Double-Integral Based Inverse Problem Approach	Öğr. Gör. Dr. Emrah KUZU Dr. Öğr. Üyesi BURAK EMRE YAPANMIŞ Prof. Dr. SÜLEYMAN MURAT BAĞDATLI
		3	Optimization of Ride Comfort and Road-Holding Trade-off in a Quarter-Car Active Suspension System via Reinforcement Learning	Öğr. Gör. Dr. Emrah KUZU Doç. Dr. Serkan ÇAŞKA
		4	GÜNEŞ IŞINIM MİKTARI ÖLÇMEK İÇİN LDR İLE BİR DEVRE TASARIMI VE UYGULAMASI	Dr. Öğr. Üyesi Nurettin Gökşenli Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tümay
		5	MAKİNE ÖĞRENİMİ KULLANARAK EEG'DEN EPILEPTİK NÖBET TESPİTİ	Dr. Öğr. Üyesi Nurettin Gökşenli Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tümay
		6	GENİŞ DEPO ALANLARINDA JİROSKOP DESTEKLİ RFID ETİKET KONUMLANDIRMA SİSTEMİ	Muhammed Melik Uğur Vahid Akram
		7	A MODULAR AND EXTENSIBLE CPU SCHEDULING SIMULATION FRAMEWORK FOR THE EXPERIMENTAL COMPARISON OF FCFS, SJF, AND RR ALGORITHMS	Dr. Öğr. Üyesi Ali Fatih Gündüz

No: 1

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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. Mustafa İNCE	1	CARPET AT THE CROSSROADS OF CULTURES: KAĞIZMAN	Dr. Öğr. Üyesi Esen BAYDEMİR, Öğr. Gör. Esra KOCAMAN DİVANOĞLU,
		2	RESİM SANATINDA AĞAÇ VE HAYVAN İMGELERİNİN SEMBOLİK VE BİÇİMSEL KULLANIMI	Yüksek Lisans Öğrencisi, Merve Nur Durusoy
		3	İSLÂM VE BATI SANATINDA ESTETİK OLGUNUN KARŞIT YÖNLERİ	Doktora Öğrencisi, Alime UYAR
		4	SOSYAL MEDYANIN GÜNLÜK YAŞAM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ: ÖĞRENCİ VE ÇALIŞAN DENEYİMLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ	Prof. Dr. Mustafa İNCE Gülnida EKMEKÇİ
		5	TÜRKİYE’NİN SANAL GÜNDEMİ; X PLATFORMUNDA TREND OLAN KONULAR ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA	Prof. Dr. Mustafa İNCE Gülnida EKMEKÇİ
		6	SÜRDÜRÜLEBİLİR ÇEVRE KORUNMASINA YÖNELİK DİJİTAL KAMU İLETİŞİMİNİN NÖROBİLİMSEL ANALİZİ	Dr. Öğretim Üyesi Caner YAZICIOĞLU
		7	DİJİTAL İLETİŞİMDE YAPAY ZEKA OKURYAZARLIĞININ PLATFORMLAŞMASI: “HERKES İÇİN YAPAY ZEKA” PLATFORMUNDA HEDEF KİTLE TEMELLİ BİR BECERİ EKOSİSTEMİ ANALİZİ	Öğr. Gör. Dr. Erdi Çelebi
		8	DIGITAL MEDIA USE AND RELIGIOSITY: A REVIEW OF THE LITERATURE	Arş. Gör. Dr. Muhammet Emin Çifçi Prof. Dr. Bünyamin Ayhan

No: 4

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assis. Prof. Dr. Jelena Milenkovic	1	ASSESSING THE IMPACT OF TELEMEDICINE ON RURAL HEALTHCARE ACCESS IN GERMANY	Prof. Dr. Stefan Becker
		2	INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN AIR POLLUTION AND RESPIRATORY DISEASE PREVALENCE IN BERLIN	Prof. Dr. Stefan Becker Dr. Thomas Schneider Assis. Prof. Dr. Katharina Lehmann
		3	PREVALENCE AND SOCIOECONOMIC FACTORS IN MALARIA CONTROL EFFORTS AMONG ERITREAN SCHOOLCHILDREN	Dr. Selam Tesfay Mebrahtu Berhane
		4	MATERNAL AND NEONATAL HEALTH OUTCOMES AFTER COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN ASMARA	Assoc. Prof. Dr. Abeba Tsehay Dr. Semhar Fissehatsion
		5	CARDIOVASCULAR DISEASE PREVENTION STRATEGIES IN SERBIAN PRIMARY CARE: AN EPIDEMIOLOGICAL STUDY	Prof. Dr. Nikola Jovanovic Dr. Milena Petrovic Assis. Prof. Dr. Stefan Cvetkovic Dr. Danijela Markovic
		6	EVALUATING MENTAL HEALTH SERVICES CAPACITY AND ACCESSIBILITY IN SOUTHERN SERBIA	Assis. Prof. Dr. Jelena Milenkovic
		7	VACCINATION COVERAGE AND INFECTION RATES AMONG CHILDREN IN CAIRO SCHOOLS	Dr. Amal El-Gohary Prof. Dr. Mahmoud Hassan Assis. Prof. Dr. Salma Bakr
		8	BARRIERS TO WOMEN'S CANCER SCREENING PARTICIPATION IN EGYPT: A MULTICENTER STUDY	Assoc. Prof. Dr. Maha Fathy Dr. Nour El-Din Hassan

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assoc. Prof. Dr. Mahsa Rahmani	1	MOLECULAR CHARACTERIZATION AND ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM DAIRY HERDS	Fariba Shafiei Prof. Dr. Amir Hosseini
		2	PREVALENCE OF TOXOPLASMOSIS IN SMALL RUMINANTS: EPIDEMIOLOGICAL STUDY IN KHORASAN REGION	Assoc. Prof. Dr. Mahsa Rahmani
		3	VETERINARY SURGICAL MANAGEMENT OF BONE FRACTURES IN WORKING DOGS: A CLINICAL STUDY	Dr. Marko Milosevic Prof. Dr. Jelena Stojanovic
		4	ZOONOTIC TRANSMISSION OF BRUCELLOSIS FROM LIVESTOCK TO HUMAN POPULATIONS IN NORTHERN SERBIA	Assis. Prof. Dr. Nikola Ilic Dr. Ana Petrovic
		5	EPIDEMIOLOGICAL ASSESSMENT OF CANINE PARVOVIRUS OUTBREAKS IN SOUTHWESTERN NIGERIA	Dr. Chinedu Okafor Amina Musa
		6	ASSESSMENT OF TICK-BORNE HEMOPARASITES IN DAIRY CATTLE AND THEIR IMPACT ON MILK PRODUCTIVITY	Dr. Fatima Lawal
		7	MOLECULAR TYPING AND ANTIBIOGRAM PROFILES OF METHICILLIN-RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN POULTRY FARMS	Dr. Patrick O. Nwosu Dr. Chuka Eze Dr. Musa Ibrahim
		8	CLINICAL AND PATHOLOGICAL FINDINGS IN FELINE LOWER URINARY TRACT DISEASE: A HOSPITAL-BASED INVESTIGATION	Dr. Ifeoma Udoh

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Giorgi Lomsadze	1	ADVANCES IN THE SYNTHESIS OF FUNCTIONALIZED ORGANIC MOLECULES FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS	Prof. Dr. Elchin Sultanov Assoc. Prof. Dr. Rzayev Ramil Afaq Rzayeva
		2	CATALYTIC PERFORMANCE IN INDUSTRIAL PROCESSES	Dr. Sevinj Aliyeva Sabina Jafarova Assoc. Prof. Imanov Elmar
		3	DEVELOPMENT AND APPLICATION OF METAL-ORGANIC FRAMEWORKS IN ENVIRONMENTAL REMEDIATION	Prof. Dr. Adriana Popescu Dr. Bogdan Iliescu
		4	KINETIC AND THERMODYNAMIC STUDY OF COPPER-CATALYZED ORGANIC TRANSFORMATION REACTIONS	Assoc. Prof. Dr. Dragos Marinescu Cristina Ghenea Dr. Nana Ezugbaia
		5	NOVEL APPROACHES TO BIOPOLYMER SYNTHESIS FOR MEDICAL DEVICE ENGINEERING	Dr. Giorgi Lomsadze
		6	ELECTROCHEMICAL METHODS FOR DETECTION OF HEAVY METAL IONS IN DRINKING WATER	Assoc. Prof. Dr. Tinatin Mchedlishvili Mariam Kapanadze
		7	CATALYTIC CONVERSION OF BIOMASS-DERIVED SUBSTRATES TO BIOFUELS USING TRANSITION METAL COMPLEXES	Dr. Alemu Getachew Solomon Tadesse

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof. Dr. Vladimir Orlov	1	DEVELOPMENT OF ADVANCED METAL MATRIX COMPOSITES FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS	Prof. Dr. Nasim Kholov Dr. Shirin Sharipova
		2	INVESTIGATION OF NANOSTRUCTURED CERAMICS FOR PHOTOCATALYTIC WATER PURIFICATION	Dr. Mehrangez Davlatova Assoc. Prof. Dr. Rustam Kurbonov
		3	MULTISCALE MODELING OF MECHANICAL BEHAVIOR IN NANOCRYSTALLINE TITANIUM ALLOYS	Prof. Dr. Aarav Patel Dr. Kavita Sharma Assis. Prof. Dr. Rajesh Mehta
		4	EFFECT OF ULTRASONIC CONSOLIDATION ON THE JOINING OF DISSIMILAR METAL SHEETS	Assoc. Prof. Dr. Pranav Reddy Dr. Sunita Iyengar Dr. Maria Sokolova
		5	SYNTHESIS AND ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF GRAPHENE-BASED FLEXIBLE ELECTRONICS	Prof. Dr. Vladimir Orlov
		6	ADVANCED COATING STRATEGIES FOR CORROSION RESISTANCE IN POWER PLANT STEELS	Assis. Prof. Dr. Ekaterina Miroshnichenko Dr. Alexey Kuznetsov Assoc. Prof. Dr. Igor Kolosov
		7	BIOCOMPATIBLE POLYMER NANOCOMPOSITES FOR TISSUE ENGINEERING APPLICATIONS	Prof. Dr. Shirin Hosseini Assoc. Prof. Dr. Farzad Abedini Dr. Mehdi Javadi
		8	INVESTIGATION OF FUNCTIONALIZED SILICA NANOPARTICLES FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS	Dr. Leyla Kamali Assis. Prof. Dr. Sahar Farhadi Assoc. Prof. Dr. Milad Ghasemi

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Prof. Dr. Noura Bouzid	1	ENHANCED PROTEIN EXTRACTION FROM KAZAKHSTAN LEGUMES USING NOVEL ENZYMATIC METHODS	Prof. Dr. Ayanbek Akhmetov Dr. Nuraiya Tuleuova Kuralay Zhaksybek
		2	DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF SMART BIODEGRADABLE FOOD PACKAGING FILMS BASED ON KAZAKHSTANI STARCH SOURCES	Dr. Dauren Sarsembayev Assis. Prof. Dr. Zhanar Azhimetova
		3	INTEGRATED MICROALGAE CULTIVATION SYSTEMS FOR NUTRIENT-RICH FOOD PRODUCTION IN BANGLADESH	Assoc. Prof. Dr. Imran Hossain Dr. Nusrat Jahan Dr. Tanvir Rahman
		4	POST-HARVEST TECHNOLOGIES FOR REDUCING FRUIT AND VEGETABLE LOSS IN BANGLADESHI MARKETS	Dr. Rehana Parvin Assoc. Prof. Dr. Mahbub Alam Dr. Shamsul Haque
		5	APPLICATION OF 3D PRINTING IN DESIGNING FUNCTIONAL FOODS WITH TAILORED TEXTURE IN SINGAPORE	Prof. Dr. Wei Chun Ng Dr. Fiona Low Assoc. Prof. Dr. Marcus Tan
		6	DATA-DRIVEN OPTIMIZATION IN INDUSTRIAL FERMENTATION FOR SUSTAINABLE FOOD INGREDIENTS	Dr. Adeline Lee Assis. Prof. Dr. Samuel Chua Assoc. Prof. Dr. Joseph Goh
		7	DEVELOPMENT OF NATURAL ANTIOXIDANT SYSTEMS TO PRESERVE QUALITY IN ALGERIAN OLIVE OIL	Prof. Dr. Noura Bouzid Assis. Prof. Dr. Hakim Benali
		8	MODEL-BASED DESIGN OF NOVEL EMULSION SYSTEMS FOR DAIRY ALTERNATIVES IN ALGERIAN FOOD INDUSTRY	Dr. Yacine Khellaf Assoc. Prof. Dr. Houria Touati Dr. Samir Fekhara

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Suresh Chandrasekhar	1	APPLICATION OF AUTOMORPHISM GROUPS IN GRAPH THEORY AND THEIR IMPLICATIONS FOR NETWORK STRUCTURES	Assis. Prof. Dr. Aram Karapetyan
		2	RECENT ADVANCES IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: ANALYSIS AND COMPUTATION	Dr. Narine Melikyan
		3	ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING	Dr. Lilit Harutyunyan Prof. Dr. Vahan Manukyan
		4	RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY	Prof. Dr. Priya Deshpande Dr. Nikhil Raman Prof. Dr. Anjali R. Mehta
		5	ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION	Dr. Suresh Chandrasekhar
		6	MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES	Prof. Dr. Avinash Kumar Dr. Sneha Patil Assis. Prof. Dr. Kartik Sharma Dr. Deepak Joshi
		7	STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES	Dr. Aisha Al-Harthy Assis. Prof. Dr. Ahmed Salim
		8	FUZZY LOGIC SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN UNCERTAIN REAL-WORLD DATA MODELLING	Assoc. Prof. Dr. Waleed Al-Lamki Dr. Sara Al-Rawahi

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Dr. Yasuyuki Konishi,	1	COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL	Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd
		2	PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES	Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan
		3	OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY	V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran
		4	CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION	Assoc. Prof. Abdelatif S. H. El-Jasser
		5	INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN	A. Molee, N. Duanghakang, P. Memkrathoke
		6	REVEALING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NaCl: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE	Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher
		7	PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY	Pattama Ratana-Arpom, Pongtep Wilaipun
		8	SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS	Emma Grigoryan, Ashot Khachatryan, Karapet Flora Avjyan Savchenko,
		9	PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS	Dr. Stepan Arakelova, Assis. Prof. Dr. Lilia Arsenyan

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Öğr. Gör. Dr., Sercan BENLİ	1	THE IMPACT OF GEOPOLITICAL RISKS ON BIST STOCK RETURNS: AN EVENT STUDY OF THE RUSSIA-UKRAINE WAR	Asst. Accounting Mgr. Meltem ATABAY Assoc. Prof. Batuhan MEDETOĞLU
		2	SÜRDÜRÜLEBİLİR YEŞİL LOJİSTİKTE YAPAY ZEKA KULLANIMI: GÜNCEL LİTERATÜRÜN BÜTÜNCÜL BİR DEĞERLENDİRMESİ	Beyza Nur Çulcu Dr.Öğr.Üye. Bilge Meydan
		3	Following the Crowd: Herding Behavior in Restaurant Crowdfunding Success	Dr. Sema Nur Ünlübulduk
		4	KANLIDİVANE ÖREN YERİ'NDE ZİYARETÇİ DENEYİMİ: GOOGLE MAPS YORUMLARI ÜZERİNDEN BİR İÇERİK ANALİZİ	Öğr. Gör. Dr., Sercan BENLİ
		5	KÜLTÜREL MİRAS, OTANTİKLİK VE DENEYİM ARAYIŞINDA SOKAK YEMEKLERİ: GASTRONOMİ TURİZMİ PERSPEKTİFİNDEN GÜNCEL YAKLAŞIMLAR	Öğretim Görevlisi MERYEM SET
		6	GASTRONOMİ TURİZMİNDE SURF AND TURF KONSEPTİNİN FİNE DİNİNG RESTORANLAR KAPSAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	Öğretim Görevlisi MERYEM SET
		7	QUALITATIVE ANALYSIS OF ONLINE CONSUMER COMPLAINTS IN THE SERVICE SECTOR: CONSUMER EXPERIENCE DIMENSIONS AND REVISIT INTENTION	Doç. Dr. Fatma Gül Bilginer Özsaatçı Merve Burcu Sevinç
		8	OPERATIONAL RELIABILITY AND PASSENGER-FACING OPERATIONAL SERVICE DISRUPTIONS IN U.S. DOMESTIC FLIGHTS: EXPLAINABLE MACHINE LEARNING AND PANEL DATA ANALYSIS	Assist. Prof. Dr. Mustafa ALTINTAŞ

No: 2

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Dr. Öğr. Üyesi, Parla Onuk	1	JEOPOLİTİK RİSK ŞOKLARININ TÜRKİYE’DE ENFLASYON VE DÖVİZ KURU ÜZERİNDEKİ ZAMANLA DEĞİŞEN ETKİLERİ	Dr. Öğr. Üyesi, Parla Onuk
		2	ORTADOĞU’DAKİ JEOPOLİTİK GELİŞMELERİN ÇEVRE ÜLKELER ÜZERİNDEKİ EKONOMİK ETKİLERİ: TÜRKİYE ÖRNEĞİ	SMMM Erhan YAŞAR
		3	SANAYİ SEKTÖRÜNDE MALİYET ENFLASYONU VE FİNANSAL KISITLAR: TÜRKİYE EKONOMİSİNDE REEL SEKTÖR DİNAMİKLERİ ÜZERİNE ANALİTİK BİR İNCELEME	SMMM Erhan YAŞAR
		4	OECD ÜYESİ ÜLKELERDE YEREL YÖNETİM HARCAMALARININ İNSANİ KALKINMA ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Dr., Yakup TAŞDEMİR
		5	İNSANİ GELİŞME VE VERGİ SİSTEMİNE UYUM MALİYETİ İLİŞKİSİ: OECD ÜLKELERİ İÇİN BİR NEDENSELLİK ANALİZİ	Dr., Yakup TAŞDEMİR
		6	İZMİR İKTİSAT KONGRESİ’NDEN DEVLETÇİLİĞE: CUMHURİYET’İN İLK ON YILINDA “MİLLİ BURJUVAZİ” OLUŞTURMA ARAYIŞI VE SINIRLARI	Dr. Öğretim Üyesi Zeynep GÜNAY
		7	TÜRKİYE EKONOMİSİNDE 2001 KRİZİ ÖNCESİ VE SONRASI DEVLETİN İKTİSADİ ROLÜNÜN YAPISAL DÖNÜŞÜMÜ	Dr. Öğretim Üyesi Zeynep GÜNAY
		8	BİST TURİZM ENDEKSİ’NDE YER ALAN KONAKLAMA İŞLETMELERİNİN FİNANSAL PERFORMANS ANALİZİ: CRITIC TEMELLİ COCOSO VE COPRAS YAKLAŞIMI	Dr., Cemile ÖCEK BENLİ
		9	TÜRKİYE’DE DIŞ ETKİLERLE YÜKSELTİLEN BÜROKRATLAR, AYDINLAR VE SİVİL TOPLUM KURULUŞLARI (1923-1980): AMERİKAN ETKİSİNİN KURUMSAL VE TOPLUMSAL YANSIMALARI	Zeynep Ertürk

No 1

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Dr. Öğr. Üyesi Leyla Ayverdi	1	Examining Special Education Teachers' Views on Technology Use Based on the Literature	Doç. Dr. Yavuz KÜÇÜKALKAN Sevilay ÇELİK
		2	PRE-SERVICE TEACHERS' EXPERIENCES IN THE FROM CANVAS TO NOTES: A JOURNEY THROUGH TIME PROJECT	Dr. Öğr. Üyesi Raziye Nil Aksoy
		3	KIRSALDA GÖREV YAPAN MATEMATİK ÖĞRETMENLERİNİN 2024 ORTAOKUL MATEMATİK DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMINI UYGULAMADA KARŞILAŞTIKLARI ZORLUKLARIN İNCELENMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, HÜMEYRA KOÇ Prof. Dr., KÜRŞAT YENİLMEZ
		4	AN INVESTIGATION INTO THE VIEWS OF PRESERVICE PRESCHOOL TEACHERS REGARDING SOCIAL RESPONSIBILITY PROJECTS CONDUCTED AT THE KOP ENERGY AND SUSTAINABILITY EDUCATION CENTER (THE CASE OF BOZOK UNIVERSITY)	Prof. Dr. Güneş SALI
		5	WHY IS EARLY ATTACHMENT IMPORTANT?	Prof. Dr. Güneş SALI
		6	AN INVESTIGATION OF PRE-SERVICE SCIENCE TEACHERS' PERCEPTIONS AND COGNITIVE STRUCTURES REGARDING INTERDISCIPLINARY TEACHING	Dr. Öğr. Üyesi Leyla Ayverdi
		7	AN INVESTIGATION OF ENVIRONMENTAL ATTITUDES OF GIFTED AND TYPICALLY DEVELOPING MIDDLE SCHOOL STUDENTS	Dr. Öğr. Üyesi Leyla Ayverdi Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre Avcu
		8	ANTRENÖR-SPORCU İLETİŞİMİ LİTERATÜRÜNÜN HARİTALANDIRILMASI: LİSANSÜSTÜ TEZLER ÜZERİNE PRISMA TEMELLİ BİR İNCELEME	Ayşegül Çimentepe Doç. Dr., Pero Duygu Dumangöz
		9	SPOR ETİĞİ BAĞLAMINDA FAİR PLAY'İN KÜLTÜREL, EĞİTSEL VE DİJİTAL DÖNÜŞÜMÜ	Belkis KAHRAMAN Doç. Dr., Pero Duygu DUMANGÖZ

No: 5

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Assis. Prof. Dr. Erkan SOLMAZ	1	GENÇ YETİŞKİN BİREYLERİN YAŞAM DOYUMU PSİKOLOJİK SAĞLAMLIK VE ÖZ-YETERLİLİK DÜZEYLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Songül BOZKURT Prof. Dr. Ali Fuat ERSOY
		2	ÖĞRENCİLERİ ETKİLEYEN MAKRO DÜZEYDEKİ RİSKLERİN OKUL SOSYAL HİZMETİ BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Songül BOZKURT Prof. Dr. Ali Fuat ERSOY
		3	DİKKAT KONTROLÜ ÖLÇEĞİ KISA FORMU’NUN TÜRKÇE VERSİYONUNUN ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE PSİKOMETRİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ	Doç. Dr. Tuba Bağatarhan Yüksek Lisans Öğrencisi Beyza Özen
		4	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE SOSYAL MEDYA BAĞIMLILIĞI: DEMOGRAFİK ÖZELLİKLER VE KULLANIM DAVRANIŞLARININ ROLÜ	Doç. Dr. Tuba Bağatarhan Dr. Rukiye Aydoğan
		5	EPİSTEMİK APORİA: AN INTEGRATED MODEL ON COGNITIVE DISSONANCE AND EPİSTEMİK DISCOMFORT İN SOCIAL MEDIA	Assistant Professor Dr. Erkan SOLMAZ
		6	LEGAL GAMBLING AND BETTING ADVERTISEMENTS İN THE CONTEXT OF GAMBLING JOURNALISM: AN ASSESSMENT OF MEDIA PROFESSIONALS’ VIEWS	Master’s Student in Social Work, İlayda AKDAL Assistant Professor, Hakan KARAMAN
		7	THE EFFECTS OF NATURE-BASED RECREATIONAL ACTIVITIES ON MENTAL HEALTH	Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Dr. Öğr. Üyesi Fatma Hilal YAĞIN
		8	SILENT BURNOUT İN SPORTS CLUBS: A CONCEPTUAL STUDY İN THE CONTEXT OF ORGANIZATIONAL STRESSORS, EMOTIONAL LABOR, AND ORGANIZATIONAL SUPPORT	Arş. Gör. Sacide TÜFEKÇİ Doç. Dr. Şakir TÜFEKÇİ Dr. Öğr. Üyesi Fatma Hilal YAĞIN

No: 4

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Asst. Prof. Mesut YILMAZ	1	THE PUBLIC INTEREST AND THE FREEDOM OF WORK AND THE RIGHT TO PROPERTY IN THE REVOCATION OF BUSINESS OPERATING AND WORKING LICENCES IN THE LIGHT OF COUNCIL OF STATE DECISIONS	Avukat İlknur Turan Lale
		2	SOCIAL SERVICE POLICIES OF LOCAL GOVERNMENTS TOWARDS FOREIGN-NATIONAL WOMEN: A CONTENT ANALYSIS	Öğr. Gör. Hülya Karakartal Ar. Gör. Gökçe Ceylan
		3	AID DELIVERED TO DIASPER-AFFECTED PLACES AFTER EARTHQUAKES: EXAMPLE FROM THE 2023 KAHRAMANMARAŞ EARTHQUAKES	Yüksek Lisans Öğrencisi Amrah SHUKURLU Dr. Öğr. Üyesi Erdem GÜNDOĞDU
		4	GAMIFICATION OF WAR: THE WHITE HOUSE’S X POSTS DURING THE U.S.- IRAN CONFLICT	Asst. Prof. Mesut YILMAZ
		5	A DIVIDE THAT RUNS THROUGH COMMUNITIES, NOT BETWEEN THEM: MILITARY INTEGRATION AND THE RECONSTRUCTION OF A UNIFIED SYRIAN ARMY	Mahmoud Al Basha Prof. Dr. Cenker Korhan Demir
		6	MIGRATION DYNAMICS IN THE MENA REGION AND ITS IMPACTS ON THE REGION	Graduate Student, Havva Dokur Assoc. Prof. Dr. Mesut Şöhret
		7	THE RELATIONSHIP BETWEEN POLITICIDE AND FORCED MIGRATION IN THE SYRIAN CIVIL WAR: THE IMPACT OF POLITICAL REPRESSION ON PROCESSES OF DISPLACEMENT	Doç. Dr. Pınar Akarçay Perihan Gündoğdu
		8	LATİN AMERİKA’DA KARTEL ŞİDDETİ: DEMOCİDE KAVRAMI AÇIKLAYICI MI?	Doç. Dr. Pınar Akarçay Şeyma ÇOLAK
		9	EVRENSEL VE BÖLGESEL İNSAN HAKLARI SİSTEMLERİNDE İNSAN ONURUNUN HUKUKİ NİTELİĞİ	İpek MELEK OCAK Doç. Dr. Abdulvahap DARENDELİ

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Doç. Dr., Serdar SAYGILI	1	TÜRK ROMANINDA MUSTAFA KEMAL ATATÜRK (1920-1980)	Dr. Öğr. Üyesi Bilginç Eyan Prof. Dr. Gökay Durmuş
		2	TRACES OF THE CONCEPT OF GENDER IN SERAY ŞAHİNER’S SHORT STORIES	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fetih YANARDAĞ Aleyna KAYIŞ
		3	THE PROVINCES AND SOLITUDE IN FERİT EDGÜ’S SHORT STORIES	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Fetih YANARDAĞ Aleyna KAYIŞ
		4	THE GARDEN AND FLORAL AESTHETICS IN REZMÎ’S QASIDAS	Doç. Dr. Murat Keklik
		5	FRANCIS BACON AND THE PHILOSOPHICAL FOUNDATIONS OF MODERN SCIENTIFIC THOUGHT	Doç. Dr., Serdar SAYGILI
		6	THE ROYAL SOCIETY OF LONDON AND THE INSTITUTIONAL CONSTRUCTION OF THE NEW UNDERSTANDING OF SCIENCE	Doç. Dr., Serdar SAYGILI

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Prof. Dr. Behice ERCİ	1	PSYCHOMETRIC EVALUATION OF THE BREAST CANCER STRESS SCALE IN WOMEN WITH NEWLY DIAGNOSED BREAST CANCER	Prof. Dr. Behice ERCİ
		2	SMARTPHONE ADDICTION AMONG UNIVERSITY STUDENTS	Prof. Dr. Behice ERCİ
		3	TOTAL ABDOMİNAL HİSTEREKTOMİ SONRASI TABURCULUK DÖNEMİNDE ÖZ BAKIM, BEDEN ALGISI VE HEMŞİRELİK DANIŞMANLIĞI GEREKSİNİMLERİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, Parisa MANAATI Yüksek Lisans Öğrencisi, Bahar ALABAY Yüksek Lisans Öğrencisi, Rumeysa ÇELİK
		4	A CULTURAL PERSPECTIVE ON THE PROFESSIONALIZATION PROCESS OF NURSING	Prof. Dr., Gülbu Tanrıverdi
		5	YUMUŞAK DOKU MÜHENDİSLİĞİ İÇİN YÜKSEK POROZİTELİ KİTOSAN/ALJİNAT İSKELELERİN TASARIMI VE KARAKTERİZASYONU	Fazilet Mısra ÖZDEMİR Doç. Dr. Aydan GÜLSU

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Assoc. Prof. Dr. Noor Al Harthy	1	THE FOUNDATIONS OF ARMENIAN LOGIC: HISTORICAL ROOTS AND MODERN APPLICATIONS	Prof. Dr. Aram Petrosyan
		2	EXPLORING ETHICAL DIMENSIONS IN CONTEMPORARY ARMENIAN POLITICAL PHILOSOPHY	Dr. Lilit Grigoryan Assoc. Prof. Dr. Tigran Hakobyan
		3	DEBATES ON MINDFULNESS AND CONSCIOUSNESS: INDIAN PHILOSOPHICAL PERSPECTIVES	Prof. Dr. Ravi Kumar Dr. Sneha Narayan
		4	INTERPRETING ADVAITA VEDANTA IN THE CONTEXT OF MODERN SCIENCE	Dr. Priya Nair Assoc. Prof. Dr. Anil Joshi
		5	RETHINKING MORAL REALISM THROUGH INDIAN BUDDHIST PHILOSOPHY	Dr. Subhasis Bandyopadhyay Satyam Verma Prof. Dr. Ahmed Al Balushi
		6	SOCIAL JUSTICE AND ETHICAL FRAMEWORKS IN CONTEMPORARY OMANI THOUGHT	Assoc. Prof. Dr. Noor Al Harthy
		7	PERSPECTIVES ON ISLAMIC PHILOSOPHY: REASON, FAITH, AND MODERNITY	Dr. Waleed Al Shamsi Prof. Dr. Layla Al Mamari
		8	CONSTRUCTING IDENTITY: PHILOSOPHY, RELIGION, AND EDUCATION IN OMAN	Dr. Amal Al Hinai Assoc. Prof. Dr. Hassan Al Farsi

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assis. Prof. Dr. Dauren Tulepov	1	SOCIAL INTEGRATION OF INTERNAL MIGRANTS IN URBAN KAZAKHSTAN: CHALLENGES AND POLICY RESPONSES	Prof. Dr. Nurzhan Akhmetov Dr. Aigerim Sadykova Assis. Prof. Dr. Dauren Tulepov
		2	GENDER ROLES AND FAMILY TRANSFORMATION AMONG YOUNG ADULTS IN KAZAKHSTAN	Assoc. Prof. Dr. Aliya Zhaparova Dr. Yerbolat Kassenov
		3	YOUTH ASPIRATIONS AND EDUCATIONAL MOBILITY IN ERITREA: SOCIOLOGICAL INSIGHTS	Dr. Selam Habtemariam Samuel Berhane
		4	THE IMPACT OF TRADITIONAL STRUCTURES ON COMMUNITY DEVELOPMENT IN CONTEMPORARY ERITREA	Prof. Dr. Amanuel Tesfay Kibrom Menghisteb
		5	SOCIAL CAPITAL AND HEALTH OUTCOMES AMONG OLDER ADULTS IN CAIRO NEIGHBORHOODS	Dr. Noura Fathy Prof. Dr. Hatem Abdelrahman
		6	CHANGING MARRIAGE PRACTICES AND THEIR IMPACT ON FAMILY DYNAMICS IN EGYPT	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Sorour Dr. Mona Gaber
		7	NATIONAL IDENTITY CONSTRUCTION AMONG YOUTH IN POST-SOVIET AZERBAIJAN	Prof. Dr. Elchin Gasimov Dr. Zaur Mammadli
		8	MEDIA CONSUMPTION AND VALUES SHIFT IN URBAN AZERBAIJANI SOCIETY	Assoc. Prof. Dr. Leyla Guliyeva Aysel Jafarova
		9	AGING AND SOCIAL EXCLUSION: EXPERIENCES OF ELDERLY GREEKS IN ATHENS	Dr. Theodoros Papadopoulos Dr. Maria Giannakopoulou

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. Roya Emami	1	IMPACT OF MONETARY POLICIES ON ECONOMIC GROWTH IN POST-SANCTION IRAN	Prof. Dr. Mehrdad Tavakoli Assis. Prof. Dr. Sara Khosravi Dr. Navid Ghafari
		2	TECHNOLOGICAL INNOVATION AND ENTREPRENEURSHIP DEVELOPMENT IN IRANIAN SMES	Prof. Dr. Roya Emami Dr. Parviz Mohammadi Assis. Prof. Dr. Laleh Farhadi
		3	GLOBALIZATION AND LABOR MARKET TRANSFORMATION IN SINGAPORE	Prof. Dr. Wei Hoon Tan Assoc. Prof. Dr. Samuel Ong Dr. Jing Li
		4	FINANCIAL INCLUSION STRATEGIES AND HOUSEHOLD WELFARE IN SINGAPORE	Assoc. Prof. Dr. Priya Menon Prof. Dr. Adrian Chan Dr. Mei Lin Chia
		5	GREEN ECONOMY INITIATIVES AND INDUSTRIAL SUSTAINABILITY IN INDIA	Prof. Dr. Ashish Joshi Dr. Priya Singh
		6	SOCIO-ECONOMIC IMPACT OF MICROFINANCE PROGRAMS IN RURAL INDIA	Dr. Ramesh Kumar Prof. Dr. Meera Desai Assis. Prof. Dr. Saumya Gupta
		7	OIL PRICE FLUCTUATIONS AND MACROECONOMIC STABILITY IN ALGERIA	Prof. Dr. Nabil Rahmani Assis. Prof. Dr. Amel Toumi Dr. Farouk Benmoussa
		8	DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL EXPORT MARKETS AND RURAL INCOME IN EASTERN ALGERIA	Dr. Yasmina Cherif Prof. Dr. Mohamed Belaid

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Assoc. Prof. Dr. Ji-Young Choi	1	APPROACHES IN CONTEMPORARY IRANIAN CALLIGRAPHY: TRADITIONAL HERITAGE AND NEW EXPRESSIONS	Prof. Dr. Morteza Farhadi Dr. Parisa Jahanbakhsh Somayeh Shams Assoc. Prof. Dr. Ali Rezaei
		2	THE EVOLUTION OF SERBIAN SCULPTURE: MONUMENTALISM AND NATIONAL IDENTITY	Prof. Dr. Marko Milenković Dr. Ivana Stojanović Dragana Ristić
		3	DEVELOPING PUBLIC ART INITIATIVES IN THE URBAN LANDSCAPE OF DOHA	Dr. Muna Al-Kuwari Assoc. Prof. Dr. Yusuf Rahman Latifa Al-Jaber
		4	CONTEMPORARY CALLIGRAPHIC ART IN QATAR: INTERSECTIONS OF TRADITION AND MODERNITY	Prof. Dr. Ghada Al-Thani Sara Al-Sayed
		5	RUSSIAN AVANT-GARDE INFLUENCE ON 21ST CENTURY RUSSIAN PAINTING	Prof. Dr. Vladimir Sokolov Svetlana Volkova Dr. Ekaterina Petrova
		6	POST-SOVIET CONTEMPORARY ART MOVEMENTS IN RUSSIA: TRENDS, CHALLENGES, AND GLOBAL DIALOGUE	Dr. Anna Ivanova Assoc. Prof. Dr. Pavel Morozov Nikita Baranov Tatiana Makarova
		7	NEW MEDIA INSTALLATION ART AND VIRTUALITY IN SOUTH KOREAN GALLERIES	Prof. Dr. Hyun-Jin Kim Jae-Won Lee

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Satoshi Watanabe	1	EQUITABLE ACCESS TO HIGHER EDUCATION IN IRAN: STRATEGIES FOR REDUCING REGIONAL DISPARITIES	Prof. Dr. Yasmin Dastgheib Assis. Prof. Dr. Mohammad Reza Farhadi Fahimeh Bakhshi
		2	IMPACT OF DIGITAL LEARNING TOOLS ON STUDENT ENGAGEMENT IN IRANIAN SECONDARY SCHOOLS	Dr. Leila Modarresi Assis. Prof. Dr. Hamed Vaziri
		3	INCLUSION POLICIES IN PRIMARY EDUCATION: A CASE STUDY FROM SERBIAN PUBLIC SCHOOLS	Prof. Dr. Luka Stanković Jovana Nikolić Assis. Prof. Dr. Marko Rajković
		4	THE EFFECT OF TEACHER PROFESSIONAL DEVELOPMENT PROGRAMS ON LEARNING OUTCOMES IN SERBIA	Assis. Prof. Dr. Ana Petrović Dragan Ilić Zorica Stevanović
		5	INNOVATIVE APPROACHES TO CURRICULUM DESIGN IN IRAQI UNIVERSITIES: CHALLENGES AND PROGRESS	Assoc. Prof. Dr. Ahmad Al-Jubouri Assis. Prof. Dr. Sana Hameed Dr. Ali Kareem
		6	EDUCATIONAL TECHNOLOGY INTEGRATION IN TEACHER TRAINING COLLEGES IN IRAQ	Prof. Dr. Samir Mahmoud Assis. Prof. Dr. Rana Al-Taie
		7	NEW METHODOLOGICAL TRENDS IN ONLINE LEARNING ACROSS RUSSIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Sergey Ivanov Dr. Ekaterina Sokolova Assis. Prof. Dr. Pavel Kuznetsov
		8	STUDENT MOTIVATION AND SELF-REGULATED LEARNING IN HYBRID HIGHER EDUCATION MODELS IN RUSSIA	Assoc. Prof. Dr. Olga Morozova Natalia Fedorova
		9	ADVANCEMENTS IN STEM CURRICULA AND PROJECT-BASED LEARNING IN JAPANESE HIGH SCHOOLS	Prof. Dr. Akira Tanaka Takashi Suzuki Yumi Matsumoto Martina Kobayashi

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 2026 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Mohammed Al-Rashid	1	INNOVATIVE TEACHING STRATEGIES IN HIGHER EDUCATION	Dr. Ahmed Al-Mutairi Dr. Sara Al-Fahad
		2	DIGITAL LEARNING PLATFORMS AND STUDENT ENGAGEMENT	Dr. Leila Mansouri Prof. Dr. Reza Khatami Neda Farhadi
		3	CURRICULUM DEVELOPMENT FOR MULTILINGUAL CLASSROOMS	Dr. Rasha Al-Haddad Omar Al-Masri
		4	THE ROLE OF TEACHER TRAINING IN IMPROVING EDUCATIONAL OUTCOMES	Dr. Fadi Khalil Dr. Lina Youssef Dr. Samir Nassar
		5	EDUCATION FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	Dr. Fatemeh Rahimi Dr. Ali Karimi
		6	BLENDED LEARNING APPROACHES IN UNIVERSITY SETTINGS	Amal Hassan Dr. Yasser Ibrahim Prof. Dr. Huda Mahmoud
		7	STUDENT-CENTERED LEARNING AND ACADEMIC ACHIEVEMENT	Dr. Mohammed Al-Rashid Dr. Aisha Al-Salem
		8	TECHNOLOGY INTEGRATION IN MODERN CLASSROOMS	Dr. Hassan Jafar Dr. Mariam Abbas Dr. Ali Hussein Prof. Dr. Zainab Karim

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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	Prof. Dr. Bassam Darwish	1	LANGUAGE AND IDENTITY IN CONTEMPORARY ARABIC NOVELS	Ahmed Al-Farouqi Layla Hassan
		2	POETIC TRADITIONS AND SYMBOLISM IN PERSIAN LITERATURE	Dr. Reza Mahdavi Niloofer Azimi Farhad Ghanbari
		3	THE INFLUENCE OF CLASSICAL TURKISH POETRY ON MODERN PROSE	Prof. Dr. Mehmet Erdem Zeynep Kaya
		4	ORAL STORYTELLING AND CULTURAL MEMORY IN IRAQI LITERATURE	Samira Al-Khalidi Ali Hussein Dr. Fadwa Salman
		5	THEMES OF EXILE AND BELONGING IN PALESTINIAN POETRY	Dr. Rami Barakat Aisha Khalil
		6	WOMEN'S VOICES IN CONTEMPORARY SYRIAN FICTION	Nour Haddad Rana Al-Shami Prof. Dr. Bassam Darwish
		7	LINGUISTIC HERITAGE AND IDENTITY FORMATION IN LEBANESE DRAMA	Karim Mansour Dr. Leila Choueiri

TRAKYA 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES July 10 – 12, 2026 EDİRNE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 10 Temmuz / July 10, 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. Cristian Petrescu	1	SPATIAL ANALYSIS OF FOOTBALL PERFORMANCE USING DIGITAL TRACKING TECHNOLOGIES	Prof. Dr. Kamran Mammadov Assoc. Prof. Dr. Leyla Aliyeva Rashad Huseynli
		2	THE ROLE OF SPORTS NUTRITION IN ENHANCING ATHLETIC ENDURANCE: A CASE STUDY IN YOUTH TEAMS	Assoc. Prof. Dr. Aygun Taghizada Nijat Safarov
		3	PSYCHOLOGICAL FACTORS AFFECTING THE SUCCESS OF ELITE WRESTLERS	Prof. Dr. Elchin Abbasov Samira Karimova Assis. Prof. Dr. Rauf Mehdiyev
		4	KINEMATIC APPROACHES TO OPTIMIZE GYMNASTIC TRAINING ROUTINES	Prof. Dr. Andrei Popescu Maria Ionescu Assoc. Prof. Dr. Elena Dobre
		5	EFFECTIVENESS OF RECOVERY STRATEGIES IN PROFESSIONAL HANDBALL TEAMS	Assoc. Prof. Dr. Cristian Petrescu Ioana Marinescu
		6	MOTIVATIONAL DYNAMICS IN YOUTH SPORTS DEVELOPMENT PROGRAMS Prof. Dr. Sorin Vasilescu	Anca Radu Dr. Mihai Florescu
		7	THE IMPACT OF CLIMATE CONDITIONS ON MARATHON PERFORMANCE IN EAST AFRICA	Assoc. Prof. Dr. John Mwangi Peter Otieno Samuel Njoroge
		8	ANALYSIS OF INJURY PATTERNS IN PROFESSIONAL FOOTBALL LEAGUES OF WEST AFRICA	Dr. Kofi Mensah Assoc. Prof. Dr. Ama Boateng

Contents

GEBELİKTE ÜRİNER İNKONTİNANS FARKINDALIĞI, RİSK FAKTÖRLERİ VE ÖNLEME YAKLAŞIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: TANIMLAYICI BİR İNCELEME.....	1
DOĞUMDA SÜREKLİ EBE DESTEĞİNİN MATERNAL VE NEONATAL SONUÇLARA ETKİSİ: YAPILANDIRILMIŞ BİR DEĞERLENDİRME	12
DETECTION OF HEPATITIS C-RELATED LIVER DISEASES USING ROUTINE BIOCHEMICAL TESTS: AN EXPLAINABLE MACHINE LEARNING APPROACH	20
MACHINE LEARNING-BASED CLINICAL PREDICTION MODELS: FROM DATA PREPARATION TO MODEL VALIDATION.....	29
AVOIDING DATA LEAKAGE IN HEALTH-BASED MACHINE LEARNING STUDIES: STATISTICAL PRINCIPLES AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS	37
EXPLAINABLE MACHINE LEARNING PREDICTION OF RECURRENCE IN DIFFERENTIATED THYROID CANCER: A LAYERED MODEL COMPARISON ALONG THE CLINICAL TIMELINE.....	45
DESIGN AND INVESTIGATION OF FUNCTIONALLY GRADED SHAPE MEMORY ALLOYS.....	54
MULTI-CRITERIA SELECTION OF ANIMAL-BASED NATURAL FIBER MATERIALS USING AN INTEGRATED GINI-COPRAS-MOORA-MARCOS FRAMEWORK.....	56
A COMPARATIVE MCDM APPROACH FOR PLANT-BASED FIBER SELECTION IN COMPOSITE MATERIALS UNDER OBJECTIVE CRITERIA WEIGHTS.....	58
A NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF ADDING OBSTACLES TO THE ABSORBER PLATE OF A SOLAR AIR HEATER EQUIPPED WITH A PCM UNIT	60
FARKLI KÂĞIT TÜRLERİNİN TOPRAK ALTINDA BOZUNMA SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ	73
SICAKLIK FAKTÖRÜNE GÖRE ÇERÇEVESİZ VE ÇERÇEVELİ PV MODÜLLERİNİN ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	92
KARABÜK ŞARTLARINDA BİR ISI POMPASININ KIŞ VE BAHAR DÖNEMİ ENERJİ TÜKETİM PROFİLİ VE EKONOMİK ANALİZİ.....	105
LMS ALGORİTMASI İLE MIMO SİSTEMDE DİNAMİK AKIŞ KONTROLÜ	115
DETERMINATION OF POZZOLANIC ACTIVITY OF BRICK AND AERATED CONCRETE WASTES USING THE FRATTINI TEST	116
HETEROJEN YEREL GEOTEKNİK ETÜT RAPORLARINDAN MAKİNE ÖĞRENMESİNE UYGUN SPT-N VERİ SETİ OLUŞTURULMASI: ORTAK ŞEMA VE KALİTE KONTROLÜ	117
ÇOKLU BÖLÜNTÜLÜ MİKRO KANAL ISI EMİCİLERİN HİDROTHERMAL PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	125
MİKRO KANAL ISI EMİCİLERİN ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜŞÜ ANALİZİ	145
ATIKSULARIN ANAEROBİK ARITIMINDA ORGANİK YÜKLEME ETKİSİ	165
ORGANIC LOADING RATE EFFECT ON ANAEROBIC TREATMENT OF WASTEWATERS.....	166
AEROBİK SÜREÇLERDE MİKROORGANİZMA TÜRÜ/BİLEŞİMİNE BESİ/MİKROORGANİZMA (F/M) ORANI ETKİSİ	180
AN OVERVIEW OF THE STRUCTURE AND ECONOMICS OF SHEEP FARMING IN TURKIYE.....	193

TÜRKİYE’DE SON 10 YILDA ASPİR ÜRETİM VE DIŞ TİCARETİNDE ORTAYA ÇIKAN GELİŞMELER.....	206
ORTA YAĞIŞLI BÖLGELERE YÖNELİK GELİŞTİRİLEN ARPA GENOTİPLERİN YATMA ORANLARI VE İNCELENEN ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ.....	227
ARPA ISLAHI ÇALIŞMALARINDA ERKEN SELEKSİYONDA BİPLOT PROGRAMININ ETKİSİ.....	241
THE EFFECTS OF PHYSICAL AND BIOLOGICAL PROCESSES ON THE ELEMENT (MACRO, MICRO AND TOXIC ELEMENTS) CONTENTS OF RAW, GERMINATED AND DRIED LEGUME SEEDS.....	251
DETERMINATION OF MINERAL AND TOXIC ELEMENT CONTENTS OF DIFFERENT PARTS OF FARMED AND NATURAL SEA BASS GROWN IN THE AEGEAN AND THE BLACK SEA.....	262
ANALYSIS OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN KERNEL BIOMETRIC PROPERTIES AND BLANCHING RATES IN ‘ÇAKILDAK’ AND ‘FOŞA’ HAZELNUT CULTIVARS: CORRELATION AND PRINCIPAL COMPONENT APPROACH	277
THE ROLE OF CANOPY POSITION ON THE CHEMICAL COMPOSITION AND PHYTOCHEMICAL PROPERTIES OF MEDLAR (<i>Mespilus germanica</i> L.) FRUITS.....	290
ERDEMLİ (MERSİN) İLÇESİNİN BAZI ODUN DIŞI ORMAN ÜRÜNLERİ VE YÖRESEL KULLANIMLARI	298
BİYO-YUMAK ENTEGRE AKVAKÜLTÜR SİSTEMLERİNDE OLUŞAN ATIK SULARDA DENİZ YOSUNLARI VE SALICORNIA SP. TÜRLERİNİN YETİŞTİRİCİLİĞİ.....	304
LOJİSTİK 4.0 VE DİJİTAL İKİZ UYGULAMALARINDA YAPAY ZEKÂ VE BLOKZİNCİR ENTEGRASYONU: DEĞER ZİNCİRİ ŞEFFAFLIĞI ÜZERİNE BİR KAVRAMSAL ÇERÇEVE	314
RAMA DAĞILIMININ BİLİNMEYEN PARAMETRESİNİN SIRALI KÜME ÖRNEKLEMESİ ALTINDA TAHMİNİ	321
EXPONENTIATED PARETO EXPONENTIAL DAĞILIMININ PARAMETRELERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE TAHMİNİ VE KARŞILAŞTIRILMASI.....	329
YÜKSEKÖĞRETİMDE AKADEMİK BAŞARI VE OKUL TERK RİSKİNİN VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİYLE SINIFLANDIRILMASI.....	338
TÜRKİYE’DE YAPAY ZEKÂYA GÜVENİN SOSYO-DİJİTAL BELİRLEYİCİLERİ: YORUMLANABİLİR MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMI	352
BEYİN TÜMÖRÜ ÇALIŞMALARINDA FEDERE ÖĞRENME YAKLAŞIMI	371
THE NEURAL NETWORK ESTIMATION MODEL OF THE AP (nT) INDEX VIA GEOMAGNETIC STORMS ...	380
TRADITIONAL INTERPOLATION APPROACHES AND BEZIER CURVE ESTIMATION MODEL COMPARISON AROUND JAPAN, CHINA, AND SOUTH KOREA COVID CASE	387
SOME RELATIONS FOR BI-PERIODIC PELL AND BI-PERIODIC PELL-LUCAS SEQUENCE	394
ALGEBRAIC PROPERTIES AND GENERALIZED PRODUCT IDENTITIES OF BI-PERIODIC PELL-TYPE RECURRENCE SEQUENCES	405
BINARY VISUAL ENTAILMENT STUDY USING A VISUAL LANGUAGE MODEL (VLM) AND VISUAL QUESTION ANSWERING (VQA) PAIR	417
ÇEYREK ARAÇ AKTİF SÜSPANSİYON SİSTEMİNDE PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME İLE SÜRÜŞ KONFORU VE YOL TUTUŞ DENGESİNİN OPTİMİZASYONU	427
FİZİK-BİLGİLİ SINIR AĞLARI İLE TEK YÖNLÜ VERİDEN YAPISAL TİTREŞİM SÖNÜMLEME PARAMETRESİNİN TAHMİNİ: ÇİFT İNTEGRAL TABANLI BİR TERS PROBLEM YAKLAŞIMI.....	435
MAKİNE ÖĞRENİMİ KULLANARAK EEG'DEN EPİLEPTİK NÖBET TESPİTİ.....	444

GÜNEŞ IŞINIM MİKTARI ÖLÇMEK İÇİN LDR İLE BİR DEVRE TASARIMI VE UYGULAMASI.....	450
GENİŞ DEPO ALANLARINDA JİROSKOP DESTEKLİ RFID ETİKET KONUMLANDIRMA SİSTEMİ	457
FCFS, SJF VE RR ALGORİTMALARININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRMALARININ YAPILDIĞI MODÜLER VE GENİŞLETİLEBİLİR BİR İŞLEMCİ ZAMANLAMA SİMÜLASYON ALTYAPISI	465
PSYCHOMETRIC EVALUATION OF THE BREAST CANCER STRESS SCALE IN WOMEN WITH NEWLY DIAGNOSED BREAST CANCER	474
SMARTPHONE ADDICTION AMONG UNIVERSITY STUDENTS.....	482
TOTAL ABDOMİNAL HİSTEREKTOMİ SONRASI TABURCULUK DÖNEMİNDE ÖZ BAKIM, BEDEN ALGISI VE HEMŞİRELİK DANIŞMANLIĞI GEREKSİNİMLERİ.....	490
A CULTURAL PERSPECTIVE ON THE PROFESSIONALIZATION PROCESS OF NURSING.....	491
YUMUŞAK DOKU MÜHENDİSLİĞİ İÇİN YÜKSEK POROZİTELİ KITOSAN/ALJİNAT İSKELELERİN TASARIMI VE KARAKTERİZASYONU	510
EXPERİMENTAL INVESTIGATION ON THE FLEXURAL BEHAVIOR OF CARBON MESH-REINFORCED GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS CONTAINING STEEL FIBERS.....	511
COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID COMPOSTION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL AND SOYBEAN OIL.....	522
PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES.....	523
OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM AVICENNIA MARINA (FORSSK.)VIERH USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY.....	524
CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION	525
INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN	526
REVEA LING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NACL: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE	527
PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY.....	528
APPLICATION OF AUTOMORPHISM GROUPS IN GRAPH THEORY AND THEIR IMPLICATIONS FOR NETWORK STRUCTURES.....	529
RECENT ADVANCES IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: ANALYSIS AND COMPUTATION.....	530
ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING	531
RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY	532
ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION	533
MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES	534
STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES.....	535
ENHANCED PROTEIN EXTRACTION FROM KAZAKHSTAN LEGUMES USING NOVEL ENZYMATIC METHODS	536

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF SMART BIODEGRADABLE FOOD PACKAGING FILMS BASED ON KAZAKHSTANI STARCH SOURCES.....	537
INTEGRATED MICROALGAE CULTIVATION SYSTEMS FOR NUTRIENT-RICH FOOD PRODUCTION IN BANGLADESH.....	538
POST-HARVEST TECHNOLOGIES FOR REDUCING FRUIT AND VEGETABLE LOSS IN BANGLADESHI MARKETS	539
APPLICATION OF 3D PRINTING IN DESIGNING FUNCTIONAL FOODS WITH TAILORED TEXTURE IN SINGAPORE	540
DATA-DRIVEN OPTIMIZATION IN INDUSTRIAL FERMENTATION FOR SUSTAINABLE FOOD INGREDIENTS	541
DEVELOPMENT OF NATURAL ANTIOXIDANT SYSTEMS TO PRESERVE QUALITY IN ALGERIAN OLIVE OIL	542
DEVELOPMENT OF ADVANCED METAL MATRIX COMPOSITES FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS	543
INVESTIGATION OF NANOSTRUCTURED CERAMICS FOR PHOTOCATALYTIC WATER PURIFICATION	544
MULTISCALE MODELING OF MECHANICAL BEHAVIOR IN NANOCRYSTALLINE TITANIUM ALLOYS	545
EFFECT OF ULTRASONIC CONSOLIDATION ON THE JOINING OF DISSIMILAR METAL SHEETS	546
SYNTHESIS AND ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF GRAPHENE-BASED FLEXIBLE ELECTRONICS.....	547
ADVANCED COATING STRATEGIES FOR CORROSION RESISTANCE IN POWER PLANT STEELS	548
BIOCOMPATIBLE POLYMER NANOCOMPOSITES FOR TISSUE ENGINEERING APPLICATIONS	549
INVESTIGATION OF FUNCTIONALIZED SILICA NANOPARTICLES FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS	550
ADVANCES IN THE SYNTHESIS OF FUNCTIONALIZED ORGANIC MOLECULES FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS.....	551
ADVANCES IN THE SYNTHESIS OF FUNCTIONALIZED ORGANIC MOLECULES FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS.....	552
INVESTIGATION OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES FOR ENHANCED CATALYTIC PERFORMANCE IN INDUSTRIAL PROCESSES.....	553
DEVELOPMENT AND APPLICATION OF METAL-ORGANIC FRAMEWORKS IN ENVIRONMENTAL REMEDIATION	554
KINETIC AND THERMODYNAMIC STUDY OF COPPER-CATALYZED ORGANIC TRANSFORMATION REACTIONS.....	555
NOVEL APPROACHES TO BIOPOLYMER SYNTHESIS FOR MEDICAL DEVICE ENGINEERING	556
ELECTROCHEMICAL METHODS FOR DETECTION OF HEAVY METAL IONS IN DRINKING WATER.....	557
CATALYTIC CONVERSION OF BIOMASS-DERIVED SUBSTRATES TO BIOFUELS USING TRANSITION METAL COMPLEXES	558
MOLECULAR CHARACTERIZATION AND ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM DAIRY HERDS.....	559
PREVALENCE OF TOXOPLASMOSIS IN SMALL RUMINANTS: EPIDEMIOLOGICAL STUDY IN KHORASAN REGION	560

VETERINARY SURGICAL MANAGEMENT OF BONE FRACTURES IN WORKING DOGS: A CLINICAL STUDY	561
ZOONOTIC TRANSMISSION OF BRUCELLOSIS FROM LIVESTOCK TO HUMAN POPULATIONS IN NORTHERN SERBIA.....	562
ASSESSMENT OF TICK-BORNE HEMOPARASITES IN DAIRY CATTLE AND THEIR IMPACT ON MILK PRODUCTIVITY	563
MOLECULAR TYPING AND ANTIBIOGRAM PROFILES OF METHICILLIN-RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN POULTRY FARMS	564
ASSESSING THE IMPACT OF TELEMEDICINE ON RURAL HEALTHCARE ACCESS IN GERMANY.....	565
INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN AIR POLLUTION AND RESPIRATORY DISEASE PREVALENCE IN BERLIN	566
PREVALENCE AND SOCIOECONOMIC FACTORS IN MALARIA CONTROL EFFORTS AMONG ERITREAN SCHOOLCHILDREN	567
MATERNAL AND NEONATAL HEALTH OUTCOMES AFTER COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN ASMARA.....	568
ARDIOVASCULAR DISEASE PREVENTION STRATEGIES IN SERBIAN PRIMARY CARE: AN EPIDEMIOLOGICAL STUDY	569
EVALUATING MENTAL HEALTH SERVICES CAPACITY AND ACCESSIBILITY IN SOUTHERN SERBIA	570
VACCINATION COVERAGE AND INFECTION RATES AMONG CHILDREN IN CAIRO SCHOOLS.....	571
BARRIERS TO WOMEN'S CANCER SCREENING PARTICIPATION IN EGYPT: A MULTICENTER STUDY	572

GEBELİKTE ÜRİNER İNKONTİNANS FARKINDALIĞI, RİSK FAKTÖRLERİ VE ÖNLEME YAKLAŞIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: TANIMLAYICI BİR İNCELEME

Doç. Dr., Ayşe ÇUVADAR

Karabük Üniversitesi

aysecuvada@karabuk.edu.tr - 0000-0002-7917-0576

Yl. Öğr., Esra ŞEKERCİ

Karabük Üniversitesi,

esraaskrc@gmail.com - 0009-0007-3440-2795

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, gebelik döneminde üriner inkontinans (Üİ) farkındalığını değerlendirmek, ilişkili risk faktörlerini ortaya koymak ve elde edilen bulgular doğrultusunda uluslararası literatüre katkı sağlayarak gelecekte yapılacak araştırmalar için bilimsel bir temel oluşturmaktır. Bu çalışma, gebelikte üriner inkontinansın yaygınlığı, risk faktörleri ve yönetimine ilişkin literatürün incelenmesine dayanan tanımlayıcı bir değerlendirme olarak planlanmıştır. İlgili çalışmalar; gebelik sürecinde Üİ görülme sıklığı, etkileyen faktörler ve önleme yaklaşımlarını içerecek şekilde sistematik olarak gözden geçirilmiştir. İncelenen çalışmalar, gebelik döneminde Üİ'nin yaygın ancak çoğunlukla göz ardı edilen önemli bir sağlık sorunu olduğunu ortaya koymaktadır. Üİ'nin, kadınların yaşam kalitesini fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutlarda olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Maternal risk faktörleri değerlendirildiğinde; ileri anne yaşı, yüksek pregestasyonel vücut kitle indeksi (VKİ), gebelik sürecinde aşırı kilo alımı ve çocukluk çağı enürezisi öyküsünün Üİ gelişimi ile anlamlı düzeyde ilişkili olduğu saptanmıştır. Gebelikte Üİ'nin önlenmesi ve yönetiminde pelvik taban kas egzersizleri birinci basamak ve en etkili koruyucu yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Düzenli ve denetimli egzersiz programlarının yanı sıra kilo kontrolü, kabızlığın önlenmesi, kafein tüketiminin sınırlandırılması ve sigaranın bırakılması gibi yaşam tarzı değişiklikleri semptomların azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca, özellikle ebeler ve hemşireler tarafından sağlanan erken dönem eğitim ve pelvik taban değerlendirmesi, Üİ'nin kronikleşmesini önlemede kritik öneme sahiptir.

Anahtar Kelimeler : Gebelik; üriner inkontinans; pelvik taban kas egzersizleri

AWARENESS, RISK FACTORS, AND PREVENTIVE APPROACHES TO URINARY INCONTINENCE DURING PREGNANCY: A DESCRIPTIVE REVIEW

ABSTRACT

This study aims to evaluate awareness of urinary incontinence (UI) during pregnancy, identify associated risk factors, and contribute to the international literature by providing a scientific basis for future research. This study was designed as a descriptive review based on the examination of the existing literature on the prevalence, risk factors, and management of urinary incontinence during pregnancy. Relevant studies were systematically reviewed in terms of the frequency of UI, contributing factors, and preventive strategies during the gestational period. The findings indicate that urinary incontinence during pregnancy is a common yet frequently overlooked health problem. UI has been shown to significantly impair women's quality of life in physical, psychological, and social dimensions. Analysis of maternal risk factors revealed that advanced maternal age, high pregestational body mass index (BMI), excessive gestational weight gain, and a history of childhood enuresis are significantly associated with the development of UI. Pelvic floor muscle exercises are considered the first-line and most effective preventive approach for the management of UI during pregnancy. In addition to structured and supervised exercise programs, lifestyle modifications such as weight control, prevention of constipation, reduction of caffeine intake, and smoking cessation play a crucial role in reducing symptom severity. Furthermore, early education and pelvic floor assessment provided by healthcare professionals, particularly midwives and nurses, are essential in preventing the chronicity of UI.

Keywords: Pregnancy; urinary incontinence; pelvic floor muscle exercises

1. GİRİŞ

Gebelik döneminde idrar kaçırma [üriner inkontinans (Üİ)], kadınlar arasında yaygın olarak görülen ancak sıklıkla göz ardı edilen önemli bir sağlık sorunudur (Parlas & Bilgic, 2024). Literatürde, gebelikte Üİ prevalansının %14 ile %75 arasında değiştiği ve bu oranın gestasyonel yaş ilerledikçe, özellikle üçüncü trimesterde belirgin şekilde arttığı bildirilmektedir (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Moossdorff-Steinhauser vd., 2021; Parlas & Bilgic, 2024; Zhu vd., 2025).

Gebelikte en sık karşılaşılan Üİ tipi stres üriner inkontinans (SÜİ) olup, gülme, öksürme, hapşırma veya fiziksel aktivite gibi intraabdominal basıncın arttığı durumlarda istemsiz idrar kaçırma ile karakterizedir (MacArthur vd., 2025; Moossdorff-Steinhauser vd., 2021; Rajavuori vd., 2022; Sun vd., 2025). Yapılan çalışmalarda, gebelerin yaklaşık %41'inde Üİ görüldüğü ve SÜİ'nin tüm vakaların %75'inden fazlasını oluşturduğu rapor edilmiştir (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Jung vd., 2024; Wang vd., 2022).

Üriner inkontinans, yalnızca fizyolojik bir sorun olmanın ötesinde, kadınların yaşam kalitesini çok boyutlu olarak etkileyen bir durumdur. Üİ yaşayan gebelerde fiziksel, psikolojik ve sosyal iyilik halinin anlamlı düzeyde olumsuz etkilendiği bildirilmektedir (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Parlas & Bilgic, 2024; Wang vd., 2022; Zhu vd., 2025). Bu durum, sosyal etkileşimlerde kısıtlanma, utanç duygusu, özgüven kaybı ve anksiyete gibi psikososyal sorunlarla ilişkilendirilmektedir (Moossdorff-Steinhauser vd., 2021; Parlas & Bilgic, 2024; Xu vd., 2023; Zhu vd., 2025). Bunun yanı sıra Üİ'nin, noktüriye bağlı olarak uyku düzenini bozabildiği ve cinsel sağlık üzerinde olumsuz etkiler yaratarak dispareni ve cinsel isteksizlik gibi sorunlara yol açabildiği belirtilmektedir (Parlas & Bilgic, 2024; Wang vd., 2022).

1.1. Etiyoloji: Gebelikte üriner inkontinans (Üİ) gelişimi multifaktöriyel bir sürece dayanmakta olup, başlıca anatomik ve hormonal değişikliklerle ilişkilendirilmektedir (H.-J. Chen vd., 2022; Parlas & Bilgic, 2024). Gebeliğin ilerlemesiyle birlikte büyüyen uterusun mesane üzerine doğrudan bası uygulaması, mesane kapasitesinin azalmasına yol açmaktadır (Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Ryhtä vd., 2023; Zhang vd., 2025). Azalan mesane kapasitesi ve artan intraabdominal basınç, pelvik taban yapıları üzerinde ek yük oluşturarak kontinans mekanizmalarının zayıflamasına ve kontinans eşiğinin düşmesine neden olmaktadır (Jung vd., 2024; Parlas & Bilgic, 2024).

Hormonal değişiklikler de Üİ gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Gebelik süresince artan relaksin ve progesteron hormonları, pelvik taban bağ dokuları ile üretral sfinkter üzerinde gevşetici etki göstererek destek mekanizmalarının zayıflamasına yol açmaktadır (Buran & Erim Avcı, 2024; Jung vd., 2024; Yang vd., 2023; Zhang vd., 2025). Özellikle relaksin hormonu, doğuma hazırlık sürecinde bağ dokularını esnek hale getirirken, pelvik taban kaslarının stabilitesini azaltarak stres üriner inkontinans (SÜİ) riskini artırmaktadır (Buran & Erim Avcı, 2024; Zhang vd., 2025).

Bunun yanı sıra, artan uterus ağırlığı ve hormonal etkilerin birlikte oluşturduğu yük, pelvik taban kaslarının (özellikle levator ani kas grubunun) fonksiyonel kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Pelvik taban kaslarında zayıflama veya fonksiyonel yetersizlik gelişmesi, bu yapıların artan yükü tolere edememesine ve kas kuvvetinde azalmaya neden olmaktadır (Buran & Erim Avcı, 2024; Parlas & Bilgic, 2024; Ryhtä vd., 2023). Bu yapısal ve fonksiyonel değişiklikler, ileri görüntüleme yöntemleriyle de desteklenmekte olup, üç boyutlu ultrasonografik değerlendirmelerde gebelik ilerledikçe levator hiatal alanın genişlediği gösterilmiştir (Parlas & Bilgic, 2024; Sun vd., 2025).

1.2. Tanı ve Değerlendirme

Gebelikte üriner inkontinansın (Üİ) tanınması, ayrıntılı ve sistematik bir klinik değerlendirme sürecini gerektirmektedir. Bu kapsamda öncelikle hastanın öyküsü ayrıntılı olarak alınmalı; idrar kaçırmanın zamanı, sıklığı ve tetikleyici durumları (öksürme, hapşırma, fiziksel aktivite gibi) dikkatle sorgulanmalıdır (Bassin vd., 2025; MacArthur vd., 2025; Soliman vd., 2023; Xu vd., 2023). Bu değerlendirme, Üİ tipinin belirlenmesi ve uygun yönetim stratejisinin planlanması açısından kritik öneme sahiptir.

Semptomların objektif olarak değerlendirilmesi amacıyla sıvı alım ve çıkarımının izlenmesi önerilmektedir. Bu doğrultuda, kadınların günlük sıvı tüketimini, idrara çıkma sıklığını ve inkontinans epizodlarını kaydettikleri mesane günlükleri, semptom şiddetinin nesnelleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan etkili araçlardır (MacArthur vd., 2025; Soliman vd., 2023; Woodley vd., 2020).

Yaşam kalitesinin değerlendirilmesi de tanı sürecinin önemli bir bileşenidir. Bu amaçla, uluslararası geçerliliği ve güvenilirliği kanıtlanmış ölçüm araçları kullanılmaktadır. Özellikle

International Consultation on Incontinence Questionnaire–Urinary Incontinence Short Form (ICIQ-UI-SF), semptom şiddetini ve Üİ'nin bireyin yaşam kalitesi üzerindeki etkisini değerlendirmede altın standart ölçüm araçlarından biri olarak kabul edilmektedir (Jaffar vd., 2022; MacArthur vd., 2025; Wang vd., 2022; Zhu vd., 2025).

Görüntüleme yöntemleri de tanı ve değerlendirme sürecine katkı sağlamaktadır. Özellikle üç boyutlu (3D) transperineal ultrasonografi, pelvik taban anatomisindeki yapısal değişikliklerin ve pelvik organ prolapsusunun değerlendirilmesinde kullanılmakta olup, gebelikte Üİ'nin altta yatan mekanizmalarının anlaşılmasına yardımcı olmaktadır (Sun vd., 2025).

1.3. Risk Faktörleri

Literatürde, gebelikte üriner inkontinans (Üİ) gelişimine katkıda bulunan çok sayıda obstetrik, maternal ve yaşam tarzına bağlı risk faktörü tanımlanmıştır. Bu faktörlerin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi, risk altındaki gebelerin erken dönemde belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Obstetrik öykü, Üİ gelişiminde belirleyici faktörlerden biridir. Özellikle gebelik öncesi veya önceki gebeliklerde idrar kaçırma öyküsü bulunması, gebelik süresince ve postpartum dönemde Üİ gelişimi için en güçlü prediktörlerden biri olarak kabul edilmektedir (MacArthur vd., 2025; Parlas & Bilgic, 2024; Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022; Zhu vd., 2025). Parite arttıkça pelvik taban yapıları üzerindeki kümülatif yük ve potansiyel hasar artmakta, buna bağlı olarak Üİ riski de yükselmektedir (Bassin vd., 2025; Buran & Erim Avcı, 2024; L. Chen, Liu, vd., 2023; Elbiss vd., 2023; MacArthur vd., 2025). Doğum şekli de önemli bir faktör olup, vajinal doğumun pelvik taban kasları üzerindeki travmatik etkileri nedeniyle Üİ riskini artırdığı; buna karşılık planlı sezaryen doğumun kısmen koruyucu bir etkisinin olabileceği bildirilmektedir (Buran & Erim Avcı, 2024; Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022). Ayrıca vakum veya forseps gibi müdahaleli doğumlar, pelvik taban dokuları ve sinir yapılarında hasara yol açarak Üİ riskini artırmaktadır (Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022). Gestasyonel yaş ilerledikçe, özellikle üçüncü trimesterde uterusun büyümesine bağlı olarak pelvik tabana binen yük artmakta ve Üİ prevalansı en yüksek düzeye ulaşmaktadır (Jung vd., 2024; Mao vd., 2024; Parlas & Bilgic, 2024; Rajavuori vd., 2022; Sun vd., 2025; Yang vd., 2023; Zhu vd., 2025).

Maternal özellikler de Üİ gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Yüksek vücut kitle indeksi (VKİ), özellikle pregestasyonel dönemde obezite veya gebelik süresince aşırı kilo alımı, intraabdominal basıncı artırarak pelvik taban kaslarının zayıflamasına neden olmakta ve Üİ riskini artırmaktadır (Bassin vd., 2025; Buran & Erim Avcı, 2024; Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Sun vd., 2025). İleri anne yaşı, doku elastikiyetinde azalma ile ilişkili olarak Üİ gelişimi açısından önemli bir risk faktörü olarak tanımlanmaktadır (Buran & Erim Avcı, 2024; Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Soliman vd., 2023; Sun vd., 2025). Ayrıca çocukluk çağı enürezisi öyküsü bulunan kadınlarda gebelikte Üİ görülme olasılığının daha yüksek olduğu bildirilmektedir (Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022).

Yaşam tarzı ve eşlik eden klinik durumlar da Üİ riskini etkileyen diğer önemli faktörlerdir. Kronik kabızlık ve kronik öksürük (örneğin sigara kullanımına bağlı), pelvik taban kasları üzerinde sürekli basınç oluşturarak bu yapıların zayıflamasına neden olmakta ve Üİ riskini yaklaşık iki kat artırmaktadır (Bassin vd., 2025; Elbiss vd., 2023; Jung vd., 2024; Poudel vd., 2021). Kafein içeren içeceklerin (kahve ve çay gibi) aşırı tüketimi, mesane irritasyonuna ve detrusor kasında erken kasılmalara yol açarak semptomların ortaya çıkmasını kolaylaştırabilmektedir (Wang vd., 2022). Ayrıca, tekrarlayan idrar yolu enfeksiyonları (İYE) öyküsü olan gebelerde Üİ semptomlarının daha sık görüldüğü bildirilmektedir (Elbiss vd., 2023; Jung vd., 2024; Wang vd., 2022).

Bununla birlikte, sedanter yaşam tarzı Üİ için bir risk faktörü olarak kabul edilirken, düzenli fiziksel aktivite ve özellikle yapılandırılmış pelvik taban kas egzersizleri (Kegel egzersizleri) koruyucu etki göstermektedir (Bassin vd., 2025; Buran & Erim Avcı, 2024; Ryhtä vd., 2023; Zhang vd., 2025).

Çizelge 1. Gebelikte Üriner İnkontinans İçin Risk Faktörlerinin Sınıflandırılması

Sınıf	Risk Faktörü	Sonuçları	Kaynaklar
Obstetrik Faktörler	Önceki Üİ öyküsü	Gebelik öncesi veya önceki gebeliklerde Üİ varlığı en güçlü prediktördür	MacArthur vd., 2025; Parlas & Bilgic, 2024; Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022; Zhu vd., 2025
	Parite (doğum sayısı)	Artan doğum sayısı pelvik taban hasarını artırır	Bassin vd., 2025; Buran & Erim Avcı, 2024; L. Chen, Liu, vd., 2023; Elbiss vd., 2023; MacArthur vd., 2025
	Doğum şekli	Vajinal doğum riski artırır, sezaryen kısmen koruyucu olabilir	Buran & Erim Avcı, 2024; Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022
	Müdahaleli doğum (vakum/forseps)	Pelvik taban ve sinir hasarı oluşturur	Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022
	Gestasyonel yaş	Üçüncü trimesterde risk artar	Jung vd., 2024; Mao vd., 2024; Parlas & Bilgic, 2024; Rajavuori vd., 2022; Sun vd., 2025; Yang vd., 2023; Zhu vd., 2025
Maternal Faktörler	Yüksek VKİ	İntraabdominal basıncı artırarak pelvik tabanı zayıflatır	Bassin vd., 2025; Buran & Erim Avcı, 2024; Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022; Sun vd., 2025
	İleri anne yaşı	Doku elastikiyetinde azalma ile ilişkilidir	Buran & Erim Avcı, 2024; Jung vd., 2024; Rajavuori vd., 2022;

			Soliman vd., 2023; Sun vd., 2025
	Çocukluk çağı enürezisi	Üİ gelişimi için predispozan faktördür	Rajavuori vd., 2022; Wang vd., 2022
Yaşam Tarzı ve Klinik Faktörler	Kronik kabızlık	Pelvik tabana sürekli basınç oluşturur	Bassin vd., 2025; Elbiss vd., 2023; Jung vd., 2024; Poudel vd., 2021
	Kronik öksürük / sigara	Pelvik taban kaslarını zayıflatır	Bassin vd., 2025; Elbiss vd., 2023; Jung vd., 2024; Poudel vd., 2021
	Kafein tüketimi	Mesane irritasyonu ve detrusor aktivitesi artışı	Wang vd., 2022
	Tekrarlayan İYE	Üİ semptomlarını artırır	Elbiss vd., 2023; Jung vd., 2024; Wang vd., 2022
	Sedanter yaşam	Pelvik taban zayıflığına katkıda bulunur	Bassin vd., 2025; Buran & Erim Avcı, 2024; Ryhtä vd., 2023; Zhang vd., 2025
	Fiziksel aktivite (koruyucu)	Pelvik taban kas egzersizleri riski azaltır	Bassin vd., 2025; Buran & Erim Avcı, 2024; Ryhtä vd., 2023; Zhang vd., 2025

1.4. Önlenmesi ve Yönetimi

Gebelikte üriner inkontinansın (Üİ) önlenmesi ve yönetimi, kanıta dayalı yaklaşımlar doğrultusunda çok boyutlu müdahaleleri içermektedir. Bu kapsamda pelvik taban kas egzersizleri, fiziksel aktivite, yaşam tarzı değişiklikleri ve teknoloji destekli öz-bakım uygulamaları temel bileşenler olarak öne çıkmaktadır (Xu vd., 2023).

1.4.1. Pelvik Taban Kas Egzersizleri (PTKE/ Kegel Egzersizleri)

Pelvik taban kas egzersizleri (PTKE), gebelikte Üİ'nin önlenmesinde birinci basamak ve en etkili koruyucu yöntem olarak kabul edilmektedir (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Jung vd., 2024; Xu vd., 2023). Erken gebelik döneminde başlanan yapılandırılmış PTKE programlarının, gebeliğin ilerleyen dönemlerinde ve postpartum süreçte Üİ riskini %29–62 oranında azalttığı bildirilmektedir (Ryhtä vd., 2023). Bu egzersizler, üretra, vajina ve anüsü çevreleyen pelvik taban kaslarının istemli olarak kasılması ve gevşetilmesine dayanmaktadır (L. Chen, Liu, vd., 2023). Günlük uygulamada genellikle günde 3 set, her sette 8–12 tekrar ve her kasılmanın 6–10 saniye sürdürülmesi önerilmektedir (L. Chen,

Liu, vd., 2023). Egzersiz sırasında nefes tutulmamalı ve intraabdominal basıncı artıran manevralardan (örneğin ıkınma) kaçınılmalıdır (Zhu vd., 2025).



Görsel 1. Kegel Egzersizleri

Kaynak: <https://www.sezaileventoglu.com/blog-ic/pelvik-taban-egzersizleri-kegel-egzersizleri-saglikli-bir-yasam-icin-guclu-bir-adim>

1.4.2. Fiziksel Aktivite ve Gebelik Pilatesi

Düzenli ve denetimli fiziksel aktivite, Üİ semptomlarının azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Gebelikte haftada en az 150 dakika orta şiddette fiziksel aktivite (yürüyüş, aerobik, direnç ve denge egzersizleri) önerilmektedir (Zhang vd., 2024, 2025). Özellikle gebelik pilatesi, pelvik taban kaslarının güçlendirilmesine katkı sağlayan etkili bir yöntemdir. Gebeliğin 28. haftasından itibaren uygulanan ve yaklaşık 8 hafta süren pilates temelli programların hem gebelikte hem de postpartum dönemde Üİ şiddetini anlamlı düzeyde azalttığı gösterilmiştir (Buran & Erim Avcı, 2024). Ayrıca bu tür egzersizler, aşırı kilo alımını sınırlayarak pelvik taban üzerindeki mekanik yükü azaltmaktadır (Buran & Erim Avcı, 2024).



Görsel 2. Gebelikte Pilates

1.4.3. Yaşam Tarzı Değişiklikleri

Değiştirilebilir risk faktörlerine yönelik müdahaleler, Üİ gelişim riskini önemli ölçüde azaltabilmektedir (Bassin vd., 2025). Bu kapsamda kilo kontrolü, kabızlığın önlenmesi, kafein tüketiminin azaltılması ve sigaranın bırakılması temel yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Özellikle yüksek pregestasyonel vücut kitle indeksi (VKİ) ve gebelikte aşırı kilo alımı, Üİ için önemli risk faktörleri olup, sağlıklı kilo aralığının korunması pelvik taban sağlığı açısından kritik öneme sahiptir (Bassin vd., 2025; Wang vd., 2022).

Kronik kabızlık ve buna bağlı ıkınma, pelvik taban kasları üzerinde sürekli stres oluşturarak bu yapıların zayıflamasına neden olmaktadır (Elbiss vd., 2023; Poudel vd., 2021; Yang vd., 2023). Liftten zengin beslenme ve yeterli sıvı alımı ile kabızlığın önlenmesi mümkündür (Mao vd., 2024). Kafein içeren içeceklerin (kahve ve çay gibi) aşırı tüketimi mesane irritasyonuna yol açabileceğinden sınırlandırılması önerilmektedir (Mao vd., 2024; Wang vd., 2022; Xu vd., 2023). Sigara kullanımı ise kronik öksürüğe bağlı olarak intraabdominal basıncı artırmakta ve pelvik taban yapıları üzerinde olumsuz etki oluşturmaktadır; bu nedenle sigaranın bırakılması önemli bir koruyucu yaklaşımdır (Elbiss vd., 2023; Xu vd., 2023).

Mesane eğitimi de davranışsal tedavi yöntemleri arasında yer almakta olup, planlı tuvalete çıkma, idrarı uzun süre tutmama ve doğru mesane boşaltım tekniklerinin öğretilmesini içermektedir (Mao vd., 2024; Soliman vd., 2023). Bu yaklaşım, bireylerin öz-kontrol becerilerini geliştirerek semptom yönetiminde etkili olmaktadır (Soliman vd., 2023).

1.4.4. Teknoloji ve Öz-Bakım Programları

Son yıllarda geliştirilen teknoloji destekli yaklaşımlar, Üİ yönetiminde tamamlayıcı bir rol üstlenmektedir. Özellikle gebelere yönelik geliştirilen mobil uygulamalar (örneğin “UIW” ve “KEPT”), pelvik taban egzersizlerine uyumu artırmada etkili araçlar olarak öne çıkmaktadır. Bu uygulamalar, doğru egzersiz tekniklerinin öğretilmesi, hatırlatıcı bildirimler aracılığıyla düzenli uygulamanın teşvik edilmesi ve semptom takibinin yapılmasına olanak sağlamaktadır (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Zhu vd., 2025).

Uygulama destekli öz-bakım programlarının, Üİ semptom şiddetini azalttığı ve yaşam kalitesini iyileştirdiği gösterilmiştir (L. Chen, Zhang, vd., 2023). Bunun yanı sıra mesane eğitimi, planlı işeme ve idrarı ertelememe gibi davranışsal stratejiler de teknoloji destekli programlarla entegre edilerek semptom yönetiminde etkinliği artırmaktadır (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Soliman vd., 2023).

2. EBELİK BAKIMI

Gebelikte üriner inkontinansın (Üİ) önlenmesi ve yönetiminde en kritik bileşenlerden biri, ebeler ve hemşireler tarafından sağlanan erken dönem eğitim ve danışmanlıktır (Parlas & Bilgic, 2024; Soliman vd., 2023). Üİ semptomlarının gebelik sürecinin “normal” bir parçası olarak algılanması, kadınların sağlık hizmetine başvurma davranışını olumsuz etkileyerek sorunun göz ardı edilmesine neden olabilmektedir (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Paras & Bilgic, 2024). Bu nedenle, sağlık profesyonellerinin farkındalık artırıcı yaklaşımları büyük önem taşımaktadır.

Ebeler, prenatal bakım sürecinde Üİ semptomlarını rutin olarak değerlendirmeli, ayrıntılı öykü alımı ile semptomların varlığını, sıklığını ve şiddetini sorgulamalıdır. Aynı zamanda, kadınların bu durumu normalleştirerek ihmal etmelerinin önüne geçmek amacıyla bilgilendirme yapılmalı ve kanıta dayalı müdahaleler bakım sürecine entegre edilmelidir (Mao vd., 2024; Paras & Bilgic, 2024). Bu kapsamda, pelvik taban kas egzersizlerinin doğru teknikte öğretilmesi, uygulanmasının izlenmesi ve bireyselleştirilmiş egzersiz programlarının oluşturulması ebelik bakımının temel unsurları arasında yer almaktadır.

Erken dönemde sağlanan eğitim ve pelvik taban değerlendirmesi, Üİ'nin kronikleşmesini önlemede hayati öneme sahiptir (Parlas & Bilgic, 2024). Özellikle çocukluk çağı enürezisi öyküsü bulunan, yüksek pariteye sahip olan veya önceki doğumlarını vajinal yolla gerçekleştirmiş kadınlar yüksek risk grubunda yer almakta olup, bu gruplara yönelik koruyucu ve hedefe yönelik müdahalelere öncelik verilmelidir (Wang vd., 2022).

Ayrıca, teknoloji destekli yaklaşımlar ebelik bakımını güçlendiren tamamlayıcı araçlar olarak değerlendirilmektedir. Mobil uygulamalar ve dijital izlem sistemleri, gebelerin pelvik taban kas egzersizlerine uyumunu artırmakta, düzenli hatırlatmalar ve geri bildirim mekanizmaları ile davranış değişikliğini desteklemektedir (L. Chen, Zhang, vd., 2023; Jaffar vd., 2022; Zhu vd., 2025). Bu tür yenilikçi yaklaşımların ebelik bakımına entegrasyonu, Üİ yönetiminde sürdürülebilir ve etkili sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamaktadır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Gebelikte üriner inkontinans (Üİ), yüksek prevalansına rağmen sıklıkla göz ardı edilen, ancak kadınların yaşam kalitesini çok boyutlu olarak etkileyen önemli bir sağlık sorunudur. Mevcut literatür, Üİ'nin gebelik sürecinde artan fizyolojik, anatomik ve hormonal değişikliklerle ilişkili olarak geliştiğini ve özellikle üçüncü trimesterde belirgin şekilde arttığını ortaya koymaktadır.

Bu derlemede elde edilen bulgular, Üİ gelişiminde obstetrik öykü, parite, doğum şekli, maternal yaş, vücut kitle indeksi ve yaşam tarzı faktörlerinin belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Özellikle gebelik öncesi veya önceki gebeliklerde Üİ öyküsünün varlığı, en güçlü risk faktörlerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

Üİ'nin önlenmesi ve yönetiminde pelvik taban kas egzersizleri, kanıta dayalı olarak en etkili birinci basamak yaklaşım olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra düzenli fiziksel aktivite, sağlıklı kilo yönetimi, kabızlığın önlenmesi, kafein tüketiminin sınırlandırılması ve sigaranın bırakılması gibi yaşam tarzı değişiklikleri semptomların azaltılmasında önemli katkı sağlamaktadır. Teknoloji destekli öz-bakım uygulamaları ve mobil sağlık araçları ise tedaviye uyumu artıran yenilikçi yaklaşımlar olarak dikkat çekmektedir.

Ebelik bakımının bu süreçte merkezi bir rolü bulunmaktadır. Ebeler ve hemşireler tarafından sağlanan erken dönem eğitim, rutin tarama ve bireyselleştirilmiş danışmanlık hizmetleri, Üİ'nin erken tanınması ve kronikleşmesinin önlenmesinde kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, gebelikte Üİ'nin ihmal edilmemesi gereken bir halk sağlığı sorunu olduğu, erken tanı ve bütüncül bakım yaklaşımları ile önlenabilir ve yönetilebilir olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda, klinik uygulamalarda farkındalığın artırılması ve kanıta dayalı müdahalelerin yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, gelecekte yapılacak prospektif ve çok merkezli çalışmaların, Üİ'nin yönetimine yönelik daha güçlü kanıtlar sunacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Bassin, H. C. M., Barbosa, A. M. P., Prudencio, C. B., Sobreira, L., Barbosa, V. P., Nunes, S. K., Rossignoli, P. D. S., Pedroni, C. R., França, D. C. H., Catinelli, B. B., Carvalho, C. N. F. D., Avramidis, R. E., Magyori, A. B. M., Sartorao-Filho, C. I., Rudge, M. V. C., & Diamater Study Group. (2025). Prevalence and Risk Factors of Pregnancy-Specific Urinary Incontinence: Findings from the Diamater Cohort Study. *Healthcare*, 13(17), 2141. <https://doi.org/10.3390/healthcare13172141>

Buran, G., & Erim Avcı, S. (2024). The effect of pregnancy pilates-assisted childbirth preparation training on urinary incontinence and birth outcomes: A randomized-controlled study. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 310(5), 2725-2735. <https://doi.org/10.1007/s00404-024-07653-5>

- Chen, H.-J., Hsiao, S.-M., Yang, C.-F., Lee, C.-N., Wang, Y.-W., Guo, D.-W., & Chang, S.-R. (2022). Overactive Bladder during Pregnancy: A Prospective Longitudinal Study. *Medicina*, 58(2), 243. <https://doi.org/10.3390/medicina58020243>
- Chen, L., Liu, S., Zhang, D., & Cai, W. (2023). Sitting on the fence: A qualitative study of perceptions regarding pelvic floor muscle training among pregnant women with urinary incontinence. *International Journal of Nursing Sciences*, 10(4), 540-548. <https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2023.09.005>
- Chen, L., Zhang, D., Li, T., Liu, S., Hua, J., & Cai, W. (2023). Effect of a Mobile App–Based Urinary Incontinence Self-Management Intervention Among Pregnant Women in China: Pragmatic Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 25, e43528. <https://doi.org/10.2196/43528>
- Elbiss, H. M., Osman, N., & Abu-Zidan, F. M. (2023). Risk factors for urinary incontinence during pregnancy among nulliparous women in the United Arab Emirates. *Medicine*, 102(4), e32738. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000032738>
- Jaffar, A., Muhammad, N., Mohd Sidik, S., Admodisastro, N., Abdul Manaf, R., Foo, C., & Suhaili, N. (2022). Feasibility and Usability of Kegel Exercise Pregnancy Training App (KEPT App) among Pregnant Women with Urinary Incontinence. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3574. <https://doi.org/10.3390/ijerph19063574>
- Jung, H., Hwang, D. W., Chun, K.-C., Kim, Y. A., Koh, J. W., Han, J. Y., Jung, H. D., Hong, D. S., & Yun, J. S. (2024). Prevalence and risk factors of urinary incontinence in pregnant Korean women. *Obstetrics & Gynecology Science*, 67(5), 481-488. <https://doi.org/10.5468/ogs.24156>
- MacArthur, C., Bick, D., Salmon, V., Jones, E., Hay-smith, J., Bishop, J., Gkini, E., Hemming, K., Webb, S., Pearson, M., Coleman, T., Terry, R., Edwards, E., Frawley, H., Oborn, E., & Dean, S. (2025). Antenatal pelvic floor muscle exercise intervention led by midwives in England to reduce postnatal urinary incontinence: APPEAL feasibility and pilot randomised controlled cluster trial. *BMJ Open*, 15(1), e091248. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-091248>
- Mao, M., Xu, P., Guo, P., Wang, X., Wang, H., & Feng, S. (2024). Lifestyle Profile Scale for Gravida with Urinary Incontinence: Scale development and psychometric testing in Chinese Mainland. *BMJ Open*, 14(11), e085493. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2024-085493>
- Moosdorff-Steinhauser, H. F. A., Berghmans, B. C. M., Spaanderman, M. E. A., & Bols, E. M. J. (2021). Prevalence, incidence and bothersomeness of urinary incontinence in pregnancy: A systematic review and meta-analysis. *International Urogynecology Journal*, 32(7), 1633-1652. <https://doi.org/10.1007/s00192-020-04636-3>
- Parlas, M., & Bilgic, D. (2024). Awareness of urinary incontinence in pregnant women as a neglected issue: A cross-sectional study. *Malawi Medical Journal*, 36(1), 53-63. <https://doi.org/10.4314/mmj.v36i1.9>
- Poudel, A., Dangal, G., & Shrestha, M. (2021). Urinary Incontinence among Pregnant Women in Third Trimester of Pregnancy in a Tertiary Care Center: A Descriptive Cross-sectional Study. *Journal of Nepal Medical Association*, 59(240). <https://doi.org/10.31729/jnma.6914>
- Rajavuori, A., Repo, J. P., Häkkinen, A., Palonen, P., Multanen, J., & Aukee, P. (2022). Maternal risk factors of urinary incontinence during pregnancy and postpartum: A prospective cohort study. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*: X, 13, 100138. <https://doi.org/10.1016/j.eurox.2021.100138>
- Ryhtä, I., Axelin, A., Parisod, H., Holopainen, A., & Hamari, L. (2023). Effectiveness of exercise interventions on urinary incontinence and pelvic organ prolapse in pregnant and postpartum women: Umbrella review and clinical guideline development. *JBIC Evidence Implementation*, 21(4), 394-408. <https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000391>
- Soliman, M., Department of Laboratories, Faculty of Nursing, Ain Shams University, Cairo, Egypt, El-Sheikh, M., Department of Maternity and Gynecological Nursing, Faculty of Nursing, Ain Shams University, Cairo, Egypt, Farrag, N., & Department of Maternity and Gynecological Nursing, Faculty

- of Nursing, Ain Shams University, Cairo, Egypt. (2023). Effect of a self-care program among women with urinary incontinence: A quasi-experimental study. *Journal of Medicine and Life*, 16(7), 1111-1119. <https://doi.org/10.25122/jml-2022-0297>
- Sun, C., Yang, H., Li, K., & He, P. (2025). Pelvic floor structural changes during the first singleton pregnancy and the risk factors of stress urinary incontinence. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 25(1), 552. <https://doi.org/10.1186/s12884-025-07666-1>
- Wang, X., Jin, Y., Xu, P., & Feng, S. (2022). Urinary incontinence in pregnant women and its impact on health-related quality of life. *Health and Quality of Life Outcomes*, 20(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s12955-022-01920-2>
- Woodley, S. J., Lawrenson, P., Boyle, R., Cody, J. D., Mørkved, S., Kernohan, A., & Hay-Smith, E. J. C. (2020). Pelvic floor muscle training for preventing and treating urinary and faecal incontinence in antenatal and postnatal women. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2021(3). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007471.pub4>
- Xu, P., Jin, Y., Guo, P., Xu, X., Wang, X., Zhang, W., Mao, M., & Feng, S. (2023). Barriers and enablers of pelvic floor rehabilitation behaviours in pregnant women with stress urinary incontinence: A qualitative analysis using the theoretical domains framework. *BMC Pregnancy and Childbirth*, 23(1), 300. <https://doi.org/10.1186/s12884-023-05633-2>
- Yang, X., Zhang, A., Zhu, R., Sayer, L., Bassett, S., & Woodward, S. (2023). Group-based PFMT programme for preventing and/or treating UI in pregnant women: Protocol of a randomized controlled feasibility study. *Pilot and Feasibility Studies*, 9(1), 180. <https://doi.org/10.1186/s40814-023-01410-2>
- Zhang, D., Bo, K., Montejo, R., Sánchez-Polán, M., Silva-José, C., Palacio, M., & Barakat, R. (2024). Influence of pelvic floor muscle training alone or as part of a general physical activity program during pregnancy on urinary incontinence, episiotomy and third- or fourth-degree perineal tear: Systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, 103(6), 1015-1027. <https://doi.org/10.1111/aogs.14744>
- Zhang, D., Sánchez-Polán, M., Silva-José, C., Díaz-Blanco, Á., Brik, M., Arias, A. M., Hernando, P., & Barakat, R. (2025). Prenatal Exercise Decreases Urinary Incontinence in Late Pregnancy and 3 Months Postpartum: A Randomized Controlled Trial. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 57(3), 555-562. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000003597>
- Zhu, Y., Cai, W., Liu, S., Zhang, D., Luo, D., Huang, S., Shi, W., Yang, L., Zhang, S., Fang, H., & Chen, L. (2025). Mobile App-Based Self-Management of Urinary Incontinence in Pregnant Women: Multicenter Pragmatic Randomized Controlled Trial. *Journal of Medical Internet Research*, 27, e72883-e72883. <https://doi.org/10.2196/72883>

DOĞUMDA SÜREKLİ EBE DESTEĞİNİN MATERNAL VE NEONATAL SONUÇLARA ETKİSİ: YAPILANDIRILMIŞ BİR DEĞERLENDİRME

Yl. Öğr., Nebiye Gül ŞENEL

Karabük Üniversitesi

nebiyegulb@gmail.com - 0009-0001-2998-9989

Doç. Dr., Ayşe ÇUVADAR

Karabük Üniversitesi

aysecuvadar@karabuk.edu.tr - 0000-0002-7917-0576

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, doğum sürecinde sağlanan sürekli ebe desteğinin maternal ve neonatal sonuçlar üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu bakım yaklaşımının doğum deneyimi üzerindeki katkılarını ortaya koymaktır. Bu çalışma, literatürde yer alan güncel araştırmaların ve sistematik derlemelerin incelenmesine dayanan tanımlayıcı bir değerlendirme olarak planlanmıştır. İlgili çalışmalar; doğumda sürekli profesyonel destek alan kadınlar ile rutin bakım alan kadınların karşılaştırıldığı araştırmalardan seçilmiştir. Değerlendirme kapsamında doğum süresi, doğum şekli, obstetrik müdahale oranları, analjezi kullanımı, yenidoğan sonuçları ve maternal memnuniyet düzeyleri ele alınmıştır. İncelenen çalışmalar, doğum süresince sağlanan sürekli ebe desteğinin maternal ve neonatal sonuçlar üzerinde anlamlı düzeyde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Sürekli destek alan kadınlarda doğum süresinin kısaldığı, spontan vajinal doğum oranlarının arttığı ve sezaryen ile diğer obstetrik müdahale oranlarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca analjezi gereksiniminin azaldığı ve doğum deneyimine ilişkin memnuniyet düzeyinin arttığı saptanmıştır. Neonatal sonuçlar açısından değerlendirildiğinde ise yenidoğanların APGAR skoru değerlerinin daha yüksek olduğu, yoğun bakım ünitesine yatış oranlarının azaldığı ve neonatal adaptasyonun daha iyi olduğu görülmüştür. Doğumda sürekli ebe desteği hem maternal hem de neonatal sağlık sonuçlarını iyileştiren, güvenli ve etkili bir bakım yaklaşımıdır. Bu doğrultuda, World Health Organization başta olmak üzere uluslararası rehberler, doğum sürecinde sürekli profesyonel desteğin yaygınlaştırılmasını önermektedir. Sağlık sistemlerinde bu yaklaşımın benimsenmesi, anne ve yenidoğan sağlığının geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler : Doğum eylemi, sürekli ebe desteği, maternal sonuçlar, neonatal sonuçlar, kanıta dayalı bakım

THE EFFECT OF CONTINUOUS MIDWIFERY SUPPORT DURING LABOR ON MATERNAL AND NEONATAL OUTCOMES: A STRUCTURED REVIEW

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effects of continuous midwifery support during labor on maternal and neonatal outcomes and to explore the contribution of this care approach to the childbirth experience. This study was designed as a descriptive review based on the examination of current research and systematic reviews in the literature. The included studies compared women receiving continuous professional support during labor with those receiving routine care. The evaluation focused on labor duration, mode of delivery, rates of obstetric interventions, analgesia use, neonatal outcomes, and maternal satisfaction levels. The reviewed studies indicate that continuous midwifery support during labor has significant positive effects on both maternal and neonatal outcomes. Women receiving continuous support had shorter labor duration, higher rates of spontaneous vaginal birth, and lower rates of cesarean section and other obstetric interventions. Additionally, a reduction in the need for analgesia and an increase in maternal satisfaction with the childbirth experience were observed. In terms of neonatal outcomes, higher APGAR score values, lower rates of neonatal intensive care unit admissions, and improved neonatal adaptation were reported. Continuous midwifery support during labor is a safe and effective care approach that improves both maternal and neonatal health outcomes. Accordingly, World Health Organization and other international guidelines recommend the widespread implementation of continuous professional support during childbirth. The integration of this approach into healthcare systems may contribute significantly to improving maternal and neonatal health.

Keywords: Labor, continuous midwifery support, maternal outcomes, neonatal outcomes, evidence-based care

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), doğumu kadınların ve yenidoğanların büyük çoğunluğunda komplikasyonsuz olarak gerçekleşebilen fizyolojik bir süreç olarak tanımlamaktadır. DSÖ'ye göre pozitif doğum deneyimi; kadının fiziksel ve psikolojik açıdan kendini güvende hissettiği, saygılı ve bireyselleştirilmiş bakımın sunulduğu, yetkin sağlık profesyonelleri ve refakatçilerin eşlik ettiği, kadının beklenti ve inançlarının karşılandığı ve sağlıklı bir bebeğin doğumuyla sonuçlanan bütüncül bir süreçtir (DSÖ, 2018). Bu yaklaşım, doğumun yalnızca biyolojik bir olay değil, aynı zamanda psikososyal bir deneyim olduğunu vurgulamaktadır. Her ne kadar doğum çoğunlukla olumlu bir yaşam deneyimi olarak kabul edilse de süreç; belirsizlik, ağrı, kontrol kaybı hissi ve yalnızlık korkusu gibi etmenler nedeniyle kadınlar için stresli ve zaman zaman travmatik bir deneyime dönüşebilmektedir. Özellikle doğum ağrısıyla baş etmede güçlük yaşanması, doğum sürecine ilişkin bilgi eksikliği ve yetersiz destek algısı, bu deneyimin olumsuz algılanmasına yol açabilmektedir. Ayrıca olası komplikasyonlara ilişkin kaygılar da doğum sürecinde kadınların psikolojik yükünü artırmaktadır. Bu bağlamda, doğum sürecinde

sunulan profesyonel destek, kadının doğum deneyimini şekillendiren temel unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır (Cömert vd., 2025).

Tarihsel süreçte kadınlar doğum sırasında çoğunlukla diğer kadınlar tarafından desteklenmiş, bu destek doğumun doğal bir parçası olarak kabul edilmiştir. “Sürekli destek” olarak tanımlanan bu yaklaşım, doğum yapan kadının fiziksel, duygusal ve bilgilendirici gereksinimlerinin kesintisiz olarak karşılanmasını ifade etmektedir. Ancak modern tıbbın gelişimi ve doğumların hastane ortamına taşınmasıyla birlikte, doğum sırasında sürekli destek uygulamaları giderek azalmış ve birçok sağlık sisteminde istisnai bir durum haline gelmiştir (Bohren vd., 2017). Günümüzde ise dünyanın pek çok ülkesinde doğum bakımının temel sağlayıcıları ebeler olup, ebe liderliğinde yürütülen bakım modelleri yeniden önem kazanmaktadır (Sandall vd., 2024). Kanıt temelli çalışmalar, doğumda sürekli ebe desteğinin yüksek kalite kanıta dayandığını ve güçlü bir öneri düzeyine sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Sürekli ebe desteğinin; analjezi kullanımının azalması, doğum süresinin kısalması, spontan vajinal doğum oranlarının artması, obstetrik müdahalelerin azalması, yenidoğanların APGAR skorlarının artması, postpartum depresyon insidansının azalması ve maternal doğum memnuniyetinin yükselmesi gibi çok yönlü olumlu etkiler sağladığı bildirilmektedir (Bohren vd., 2017). Nitekim DSÖ’nün 2018 yılında yayımladığı “olumlu bir doğum deneyimi için intrapartum bakım” rehberinde, doğum sürecinde her kadına en az bir ebe tarafından sürekli destek sağlanması önerilmektedir (DSÖ, 2018).

2. SÜREKLİ EBE DESTEĞİ NEDİR?

İnsanlık tarihi boyunca kadınlar gebelik, doğum ve doğum sonrası dönemlerde yalnız bırakılmamış; bu süreçlerde deneyimli kadınlar ve özellikle ebeler tarafından desteklenmiştir. Bu destek, doğumun doğal bir parçası olarak kabul edilmiş ve kadınların doğum deneyimini daha güvenli ve yönetilebilir hale getirmiştir. Doğum sırasında sağlanan sürekli ebelik bakımı, gebe odaklı bir yaklaşımı temel almakta olup, kadının gereksinimlerine duyarlı, kesintisiz ve bireyselleştirilmiş bir bakım sunmayı amaçlamaktadır. Bu süreçte ebe, gebeyi sürekli bilgilendirerek hem doğum sürecine aktif katılımını desteklemekte hem de olası komplikasyonlar ve risk faktörlerinin erken dönemde belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Yücel, Taş ve Ekşioğlu, 2022).

Yirminci yüzyılın ortalarından itibaren birçok ülkede doğumların ev ortamından hastane ortamına taşınmasıyla birlikte, doğum sırasında sürekli destek uygulamaları giderek azalmış ve istisnai bir uygulama haline gelmiştir. Ancak bu dönüşüm, kadınların doğum deneyimlerinin daha olumsuz hale gelmesine ilişkin kaygıları da beraberinde getirmiştir. Bu doğrultuda, doğum sürecinde yeniden sürekli ve bire bir desteğin sağlanmasına yönelik çağrılar artmıştır (Bohren vd., 2017). Nitekim yapılan çalışmalar, kadınların doğum sırasında psikolojik, fiziksel, duygusal, bilgilendirici ve pratik gereksinimlerini karşılamak amacıyla bir destek sağlayıcıya ihtiyaç duyduklarını ve bu desteği oldukça değerli bulduklarını ortaya koymaktadır (Kabakian-Khasholian, El-Nemer ve Bashour, 2015).

Doğum desteği; gebelik, doğum ve doğum sonrası dönemde kadınlara sağlık profesyonelleri, aile üyeleri, eş veya kadının tercih ettiği bir kişi tarafından sunulan destekleyici bakım olarak tanımlanmaktadır (Gökçek ve Yazıcı, 2022). Bu desteğin temel hedefleri; kadına doğum sürecinde aktif yardım sağlamak, duygusal ve fiziksel gereksinimlerini karşılamak, konforunu

artırmak, doğum memnuniyetini yükseltmek, vajinal doğum oranlarını artırmak, doğum sonuçlarını iyileştirmek, annelik rolüne uyumu kolaylaştırmak, yenidoğanın ekstrauterin yaşama adaptasyonunu desteklemek ve kadının özsaygısını güçlendirmektir (Gökçek ve Yazıcı, 2022). Ayrıca, sürekli ebe desteğinin doğum deneyimini daha olumlu hale getirdiği, kadının güvenlik algısını ve kontrol hissini artırdığı da bildirilmektedir (Dencker vd., 2020).

Doğumda sağlanan destekleyici bakım dört temel başlık altında ele alınmaktadır: duygusal destek, fiziksel destek, bilgi desteği ve savunuculuk desteği (Gökçek ve Yazıcı, 2022).

Duygusal destek; gebeye empatik, saygılı ve güven verici bir iletişim kurarak kadının kendini güvende ve rahat hissetmesini sağlamayı içermektedir. Bu kapsamda etkin dinleme, empati kurma, açık ve destekleyici iletişim, kaygıyı azaltma, mahremiyeti koruma, güven oluşturma ve kadının manevi değerlerine saygı gösterme gibi unsurlar yer almaktadır. Aynı zamanda duygusal destek, doğum ağrısının algılanmasını azaltmada da önemli bir rol oynamaktadır (Hodnett, 2013).

Fiziksel destek; doğrudan gebeye yönelik uygulamaları kapsamaktadır. Bu bağlamda, doğum ağrısını azaltmaya yönelik non-farmakolojik yöntemlerin kullanımı, doğumun evrelerine uygun pozisyonların verilmesi, doğum ortamının uygun hale getirilmesi, mahremiyetin korunması, kadının dinlenme ve beslenme gereksinimlerinin karşılanması gibi uygulamalar fiziksel desteğin temel bileşenlerindendir (Rathfisch, 2012; Levett, 2016).

Bilgi desteği; kadının doğum sürecini anlayabilmesi ve bu süreçle baş edebilmesi için gerekli bilgilendirme ve eğitimin sağlanmasını içermektedir. Ebeler, gebeleri doğum süreci, doğum ağrısı ve ağrı yönetimi yöntemleri hakkında bilgilendirerek, yapılacak uygulamalara aktif katılımlarını teşvik etmektedir. Bu durum, kadınların doğumu daha bilinçli bir şekilde deneyimlemelerine ve sürece uyum sağlamalarına katkı sunmaktadır (Uludağ ve Mete, 2015). Savunuculuk desteği ise kadının haklarının korunması, bakım sürecine aktif katılımının desteklenmesi ve kendi sağlığıyla ilgili kararlar alabilmesi için güçlendirilmesini kapsamaktadır. Ebeler bu süreçte açık, anlaşılır ve şeffaf bir iletişim kurmalı; kadının ihtiyaçlarını dikkate almalı ve bireyselleştirilmiş bakım sunmalıdır. Aynı zamanda kadınların görüşlerini ifade etmeleri teşvik edilmeli ve bakım süreci rutin uygulamalardan ziyade bireye özgü şekilde planlanmalıdır (Gökçek ve Yazıcı, 2022).

3. MATERNAL SONUÇLARA ETKİSİ

Doğum sürecinde sağlanan sürekli ebe desteğinin maternal sonuçlar üzerinde belirgin ve çok boyutlu etkileri olduğu literatürde kapsamlı biçimde ortaya konmuştur. Sürekli destek; kadına doğum boyunca kesintisiz olarak sunulan duygusal, fiziksel ve bilgilendirici bakımı içermekte olup, bu yaklaşım doğum sürecinin fizyolojik seyrini destekleyerek gereksiz obstetrik müdahalelerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Nitekim literatürdeki en kapsamlı meta-analizlerden biri olan Bohren ve arkadaşlarının (2017) çalışmasında, sürekli ebe desteğinin maternal sağlık çıktıları üzerinde anlamlı düzeyde olumlu etkiler yarattığı bilimsel olarak gösterilmiştir (Bohren vd., 2017). Aynı çalışmada, sürekli destek alan kadınlarda spontan vajinal doğum oranlarının anlamlı şekilde arttığı; buna karşın sezaryen doğum ile forseps ve vakum gibi müdahaleli doğum oranlarının azaldığı bildirilmiştir (Bohren vd., 2017).

Sürekli ebe desteğinin doğum süresi üzerindeki etkisi de dikkat çekicidir. Ebenin varlığı ve aktif desteği, travay süresinin kısalmasına katkıda bulunmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)

verileri, doğum sırasında sağlanan sürekli desteğin doğum süresini anlamlı düzeyde azalttığını ortaya koymaktadır (DSÖ, 2018). Bununla birlikte, sürekli destek alan kadınların doğum ağrısını daha düşük düzeyde algıladıkları ve buna bağlı olarak farmakolojik analjeziye daha az ihtiyaç duydukları bildirilmektedir (Bohren vd., 2017).

Bu bulgular, randomize kontrollü çalışmalarla da desteklenmektedir. İsveç'te yürütülen bir çalışmada, ebe veya hemşire tarafından sürekli destek sağlanan primipar kadınların aktif doğum sürelerinin daha kısa olduğu ve spontan vajinal doğum oranlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır. Aynı çalışmada, sürekli destek alan kadınların kortizol düzeylerinin doğumun tüm evrelerinde daha düşük olduğu ve bunun daha düşük stres düzeyini yansıttığı belirlenmiştir. Düşük maternal kortizol düzeylerinin ise daha kısa aktif doğum süresi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir (Stjernholm vd., 2021).

Maternal ruh sağlığı üzerindeki etkiler açısından değerlendirildiğinde, literatürde bazı farklılıklar dikkat çekmektedir. DSÖ verilerine göre, düşük güvenirlilikte kanıtlar, doğum sırasında destek sağlayıcının sağlık profesyoneli olmadığı ve kadın tarafından seçildiği durumlarda postpartum depresyon riskinin azalabileceğini göstermektedir. Ancak orta düzeyde kanıtlar, destek sağlayıcının sağlık profesyoneli olduğu durumlarda postpartum depresyon üzerinde sınırlı ya da anlamlı olmayan bir etki olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmalar arasındaki heterojenlik nedeniyle postpartum depresyon sonuçlarına ilişkin bulguların sınırlı olduğu ifade edilmektedir (DSÖ, 2018).

Bununla birlikte, daha güncel randomize kontrollü çalışmalar, sürekli intrapartum desteğin maternal psikolojik sonuçlar üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Kahraman ve İsbir (2023) tarafından yürütülen çalışmada, sürekli doğum içi destekleyici bakımın doğum korkusunu ve doğum travması algısını anlamlı düzeyde azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca bu bakım modelinin, kadınların intrapartum dönemde algıladıkları kontrol ve destek düzeylerini artırdığı ve doğum sonrası anne-bebek bağlanmasını olumlu yönde etkilediği saptanmıştır. Bu bulgular, sürekli ebe desteğinin yalnızca fiziksel doğum sonuçlarını değil, aynı zamanda maternal ruh sağlığını koruyucu ve geliştirici bir rol üstlendiğini göstermektedir (Kahraman ve İsbir, 2023).

4. NEONATAL SONUÇLARA ETKİSİ

Doğum sürecinde sağlanan sürekli ebe desteğinin yalnızca maternal sonuçları değil, aynı zamanda neonatal sonuçları da olumlu yönde etkilediği literatürde açıkça ortaya konmaktadır. Sürekli ebe desteği, doğumun fizyolojik süreçler doğrultusunda ilerlemesini destekleyerek gereksiz obstetrik müdahalelerin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu durum, yenidoğanın doğum sonrası adaptasyon sürecini doğrudan olumlu yönde etkilemektedir. Nitekim Bohren ve arkadaşlarının (2017) gerçekleştirdiği meta-analizde, sürekli destek sağlanan doğumlarda yenidoğan yoğun bakım ünitesine kabul oranlarının daha düşük olduğu ve düşük APGAR skoru görülme sıklığının anlamlı düzeyde azaldığı bildirilmiştir (Bohren vd., 2017).

Sürekli ebe desteğinin doğum süresini kısaltması ve operatif doğum oranlarını azaltması, yenidoğan sağlığı açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Daha kısa ve fizyolojik seyreden doğum süreci, yenidoğanın doğum stresine daha iyi adapte olmasına olanak tanımaktadır. Bunun yanı sıra, sürekli destek verilen doğumlarda doğum sonrası erken dönemde anne ile bebek arasında ten tene temasın daha erken kurulduğu ve erken emzirmenin daha yüksek oranlarda gerçekleştiği bildirilmektedir. Bu durum, yenidoğanın termoregülasyonunun

sağlanması, kardiyorespiratuvar stabilitenin korunması ve bağışıklık sisteminin desteklenmesi açısından kritik öneme sahiptir (DSÖ, 2018).

Sonuç olarak, sürekli ebe desteği ile sağlanan fizyolojik doğum süreci, yenidoğanın ekstreuterin yaşama geçişini kolaylaştırmakta ve kısa dönem neonatal sonuçların iyileştirilmesine katkıda bulunmaktadır.

5. KANIT DÜZEYİ

Doğum sırasında sağlanan sürekli ebe desteğinin maternal ve neonatal sonuçlar üzerindeki olumlu etkileri, uluslararası literatürde güçlü kanıtlarla desteklenmektedir. Bu nedenle, sürekli ebe desteği, güncel klinik rehberlerde kanıt temelli bir uygulama olarak yer almaktadır. Doğum süresince kadının yanında sürekli destek sağlayan bir ebeinin bulunması, doğumun daha güvenli ilerlemesine, müdahale oranlarının azalmasına ve olumlu doğum deneyiminin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ), doğum eylemi boyunca kadına sürekli profesyonel destek sağlanmasını, olumlu doğum deneyimini destekleyen temel uygulamalardan biri olarak önermektedir (DSÖ, 2018).

Benzer şekilde, Uluslararası Ebeler Konfederasyonu (ICM), sürekli ebe desteğini ebelik mesleğinin temel bileşenlerinden biri olarak tanımlamaktadır. ICM'ye göre ebelik bakımı bütüncül, sürekli ve kadın merkezli bir yaklaşımı içermekte olup, bu süreçte ebe ile kadın arasında kurulan güven ilişkisi bakımın etkinliğini artırmaktadır. Süreklilik arz eden bakım modeli, kadınların ebeleri güvenilir bir rehber ve temel karar destekleyici olarak görmelerini sağlamaktadır (ICM, 2025).

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Doğum sürecinde sağlanan sürekli ebe desteğinin hem maternal hem de neonatal sonuçlar üzerinde anlamlı ve çok boyutlu olumlu etkiler oluşturduğu literatürde güçlü kanıtlarla ortaya konmuştur. Sürekli ebe desteği; doğumun fizyolojik seyrini destekleyerek sezaryen ve diğer müdahaleli doğum oranlarını azaltmakta, doğum süresini kısaltmakta ve kadınların doğum deneyimini daha olumlu hale getirmektedir. Bu bakım modeli sayesinde kadınların doğum sürecinde kendilerini daha güvende hissettikleri, kontrol algılarının arttığı ve doğumdan duydukları memnuniyetin yükseldiği bildirilmektedir. Aynı zamanda sürekli destek, doğum ağrısının daha iyi yönetilmesine katkı sağlayarak farmakolojik analjezi gereksinimini azaltmaktadır. Neonatal açıdan değerlendirildiğinde ise, sürekli ebe desteğinin yenidoğanın doğum sonrası adaptasyonunu desteklediği, düşük APGAR skorlarının görülme sıklığını azalttığı ve yenidoğan yoğun bakım ünitesine yataş oranlarını düşürdüğü belirtilmektedir. Tüm bu bulgular, doğumda sürekli ebe desteğinin kanıta dayalı, etkili ve güvenli bir bakım yaklaşımı olduğunu göstermektedir (Bohren vd., 2017).

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) başta olmak üzere uluslararası otoriteler, doğum sürecinde kadınlara sürekli profesyonel destek sağlanmasını güçlü bir şekilde önermekte ve ebe liderliğinde yürütülen bakım modellerinin anne ve bebek sağlığı üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamaktadır (DSÖ, 2018). Bu doğrultuda, sağlık sistemlerinde kadın merkezli ve bütüncül bakım anlayışının benimsenmesi, doğum hizmetlerinin kalitesinin artırılması açısından kritik öneme sahiptir.

Ülkemiz özelinde değerlendirildiğinde, doğum hizmetlerinde kanıta dayalı uygulamaların yaygınlaştırılması ve sürekli ebe desteğinin standart bakımın bir parçası haline getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, doğumhanelerde ebe sayısının artırılması, iş yükünün dengelenmesi ve her kadına bire bir sürekli destek sunulabilecek organizasyonel düzenlemelerin yapılması önem arz etmektedir. Ayrıca ebelerin mesleki yetkinliklerinin güçlendirilmesi amacıyla hizmet içi eğitimlerin artırılması, doğumda destekleyici bakım uygulamalarına yönelik farkındalığın geliştirilmesi ve klinik protokollerin bu doğrultuda güncellenmesi önerilmektedir.

Bunun yanı sıra, doğumda sürekli ebe desteğinin yaygınlaştırılmasına yönelik sağlık politikalarının geliştirilmesi, ebe merkezli bakım modellerinin teşvik edilmesi ve multidisipliner ekip yaklaşımının güçlendirilmesi gerekmektedir. Akademik düzeyde ise, bu alanda yapılacak ileri düzey araştırmalarla mevcut kanıtların desteklenmesi ve farklı bakım modellerinin etkinliğinin karşılaştırılması önem taşımaktadır. Sonuç olarak, sürekli ebe desteğinin doğum bakım hizmetlerine entegrasyonu, anne ve yenidoğan sağlığının iyileştirilmesi ve olumlu doğum deneyimlerinin yaygınlaştırılması açısından vazgeçilmez bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Bohren MA, Hofmeyr GJ, Sakala C, Fukuzawa RK, Cuthbert A. Continuous support for women during childbirth. Cochrane Database of Systematic Reviews 2017, Issue 7. Art. No.: CD003766. DOI: 10.1002/14651858.CD003766.pub6.

Cömert, D., Günaydın, S., Kaya, HD., Yılmaz, T. (2025). Aktif fazda kesintisiz refakat desteğinin doğum ağrısı, süresi ve memnuniyetine etkisi. Hitit Sağlık Dergisi, 4, 12 22. <https://doi.org/10.69563/hititsaglikderg.1568606>

Dencker A, Bergqvist L, Berg M, Greenbrook JTV, Nilsson C, Lundgren I. Measuring women's experiences of decision-making and aspects of midwifery support: a confirmatory factor analysis of the revised Childbirth Experience Questionnaire. BMC Pregnancy Childbirth. 2020 Apr 6;20(1):199. doi: 10.1186/s12884-020-02869-0. PMID: 32252679; PMCID: PMC7137445.

Gökçek Aİ., Yazıcı S. (2022). Doğum Desteği ve Ebelik Bakımı, Eurasian Journal Of Health Sciences, 5(1). 93-99. DOI: 10.53493/avasyasbd.970423 Received: 12.07.2021 Accepted:25.10.2021

Hodnett ED, Gates S, Hofmeyr GJ, Sakala C. (2013). Continuous support for women during childbirth. Cochrane Database Syst Rev. 17(10): CD003766.

International Confederation Of Midwives, (2025). Philosophy and Model of Midwifery Care Kabakian-Khasholian T, El-Nemer A, Bashour H. Perceptions about labour companionship at public teaching hospitals in three Arab countries. *International Journal of Gynaecol and Obstetrics* 2015;129(3):223-6.

Kahraman HG, İsbir GG. The effect of continuous intrapartum supportive care on maternal mental health: a randomized controlled trial. Women Health. 2023 Nov 26;63(10):774-786. doi: 10.1080/03630242.2023.2266009. Epub 2023 Nov 17. PMID: 37807722.

Kınık, E. ve Özcan, H. "Doğumda Kesintisiz Ve Sosyal Destek" Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi 7(3), Aralık 2022: 617-628.

- Levett KM, Smith CA, Bensoussan A, Dahlen HG. (2016). Complementary therapies for labour and birth study: a randomised controlled trial of antenatal integrative medicine for pain management in labour. *British Medical Journal*, 6: E010691.
- Rathfisch G. (2012). Doğal Doğumu Destekleyen Yaklaşımlar. Editör Gülay Rathfisch. Doğal Doğum Felsefesi. 1. Baskı. Ankara, Nobel Tıp Kitabevleri, ss: 123-128.
- Sandall, J., Fernandez Turienzo, C., Devane, D., Soltani, H., Gillespie, P., Gates, S., Jones, L. V., Shennan, A. H., & Rayment-Jones, H. (2024). *Midwife-led continuity models versus other models of care for childbearing women*. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (4), CD004667. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004667.pub6>
- Stjernholm YV, Charvalho PDS, Bergdahl O, Vladic T, Petersson M. Continuous Support Promotes Obstetric Labor Progress and Vaginal Delivery in Primiparous Women - A Randomized Controlled Study. *Front Psychol*. 2021 Feb 12;12:582823. doi: 10.3389/fpsyg.2021.582823. PMID: 33679510; PMCID: PMC7928421.
- Uludağ E, Mete S. (2015). Doğum eyleminde destekleyici bakım. *Cumhuriyet Hemşirelik Dergisi*, 3(2): 22-29.
- WHO recommendations: intrapartum care for a positive childbirth experience. Geneva: World Health Organization; 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

DETECTION OF HEPATITIS C–RELATED LIVER DISEASES USING ROUTINE BIOCHEMICAL TESTS: AN EXPLAINABLE MACHINE LEARNING APPROACH

Doç. Dr. Şeyma YAŞAR

İnönü Üniversitesi

seyma.yasar@inonu.edu.tr - 0000-0003-1300-3393

Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN,

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

hilal.yagin@gmail.com - 0000-0002-9848-7958

ABSTRACT

Hepatitis C virus (HCV) infection affects approximately 50 million people worldwide and may lead to fatal complications such as liver fibrosis, cirrhosis and hepatocellular carcinoma. This study aimed to develop a leakage-free and explainable (XAI) machine learning model that distinguishes HCV-related liver diseases from healthy individuals using routinely measured biochemical blood parameters. The publicly available UCI HCV dataset (n=615) was used. After excluding ambiguous “suspect blood donor” records (n=7), a binary classification task was defined (healthy blood donor versus hepatitis/fibrosis/cirrhosis; n=608). Imputation, scaling and SMOTE balancing were applied only within training folds to prevent data leakage. Seven machine learning algorithms were compared using 5-fold $\times$ 10-repeat stratified cross-validation. The best model’s performance was reported on leakage-free (out-of-fold) cross-validated predictions, with 95% confidence intervals (CI) obtained from 2000 bootstrap resamples, and its decisions were explained using SHAP (SHapley Additive exPlanations). Random Forest achieved the best performance, with an AUROC of 0.989 (95% CI 0.972–0.999), balanced accuracy of 0.955, sensitivity of 0.920 and specificity of 0.991, producing only 6 false negatives and 5 false positives among 608 patients. SHAP analysis identified AST, GGT, bilirubin, ALP and ALT as the most influential markers, in full agreement with established clinical biomarkers of liver injury. These findings show that an explainable machine learning model based on routine biochemical tests can detect HCV-related liver diseases with high accuracy and clinical interpretability, with decisions resting on clinician-verifiable liver pathophysiology.

Keywords: Hepatitis C, machine learning, explainable artificial intelligence, SHAP, random forest, liver disease.

1. INTRODUCTION

Hepatitis C virus (HCV) infection is one of the leading bloodborne agents that cause chronic inflammation of the liver. According to the World Health Organization (WHO), an estimated 50 million people were living with chronic HCV infection in 2022, with approximately 1 million new infections occurring annually. In the same year, around 242,000 people died from HCV-related causes, predominantly liver cirrhosis and hepatocellular carcinoma. Although direct-acting antiviral agents (DAAs) can cure more than 95% of infected individuals, it is estimated that only about 36% of those infected have been diagnosed [1]. This gap underscores the critical importance of detecting the disease at an early stage.

HCV infection is frequently diagnosed late because symptoms often appear in the advanced stages of the disease [2]. Although liver biopsy is considered the gold standard for fibrosis staging, it is invasive, carries sampling error and complication risks, and is therefore unsuitable for routine screening. In contrast, routine biochemical tests such as aspartate aminotransferase (AST), alanine aminotransferase (ALT), gamma-glutamyl transferase (GGT), alkaline phosphatase (ALP) and bilirubin are low-cost, non-invasive and widely accessible. Combining these parameters with machine learning methods enables the development of cost-effective, non-invasive screening tools [2,3].

In recent years, machine learning methods have produced successful classification results on HCV datasets. Hoffmann et al. used decision-tree-based methods to generate diagnostic pathways from laboratory data [2], while Chicco and Jurman improved the classification of patients with hepatitis and cirrhosis using ensemble learning approaches [3]. However, many studies in this field face two important methodological limitations. First, applying balancing techniques such as the Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) to the entire dataset rather than within cross-validation folds can cause data leakage and overly optimistic performance estimates [4]. Second, most high-performing models are “black boxes” and fail to provide the transparency and trust required in clinical decision-making [5].

Explainable artificial intelligence (XAI) is a research field that addresses this “black box” problem. The SHAP (SHapley Additive exPlanations) method, proposed by Lundberg and Lee, consistently quantifies the contribution of each feature to the model output based on Shapley values from game theory [6]. SHAP provides both global (population-level feature importance) and local (individual-patient-level) explanations, thereby enhancing clinical interpretability.

The aim of this study is to develop an explainable machine learning framework that (i) distinguishes HCV-related liver diseases from healthy individuals using routine biochemical parameters, (ii) prevents data leakage by embedding all preprocessing and balancing steps within cross-validation folds, and (iii) renders model decisions clinically interpretable through SHAP.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset

The publicly available HCV dataset, created by Lichtinghagen, Klawonn and Hoffmann and donated to the UCI Machine Learning Repository, was used [2,7]. The dataset contains demographic information (age, sex) and 10 routine biochemical laboratory parameters (ALB, ALP, ALT, AST, BIL, CHE, CHOL, CREA, GGT, PROT) for 615 individuals. The target variable consists of five categories: blood donor (n=533), suspect blood donor (n=7), hepatitis (n=24), fibrosis (n=21) and cirrhosis (n=30).

The clinically ambiguous “suspect blood donor” (0s) category (n=7) was excluded from the analysis because it belongs to neither a clearly healthy nor a clearly diseased group. A binary classification problem was defined on the remaining records: **healthy** (blood donor; n=533) and **disease** (hepatitis + fibrosis + cirrhosis; n=75). Consequently, the analysis was conducted on 608 individuals with an imbalanced dataset of approximately 7.1:1.

2.2. Preprocessing

The sex variable was binary-encoded (male=1, female=0). Missing values (at most 18 in ALP) were imputed using the median. All numerical features were standardized (z-score). As a critical methodological point, all parameters defining imputation, scaling and balancing were learned only from the *training* portion of each cross-validation fold and then applied to the validation portion. This approach prevents data leakage and the resulting optimistic performance bias [4].

2.3. Handling Class Imbalance

The Synthetic Minority Over-sampling Technique (SMOTE) was used to address class imbalance [8]. SMOTE generates synthetic samples by linear interpolation between minority-class instances, thereby widening the decision boundary. To prevent leakage, SMOTE was applied only to training folds; the validation data never came into contact with synthetic samples at any stage.

2.4. Machine Learning Models

Seven supervised learning algorithms were compared: Logistic Regression, Random Forest [9], Extra Trees, Gradient Boosting, Radial Basis Function Support Vector Machine (SVM-RBF), k-Nearest Neighbors (k-NN) and Gaussian Naive Bayes. All models were implemented using the scikit-learn library in Python [10]. For reproducibility, all sources of randomness were fixed to a constant seed (seed=42).

2.5. Model Evaluation

Models were evaluated using 5-fold $\times$ 10-repeat stratified cross-validation (50 folds in total). Within each fold, an integrated pipeline comprising preprocessing $\rightarrow$ scaling $\rightarrow$ SMOTE $\rightarrow$ model was constructed. The performance metrics included the area under the ROC curve (AUROC), balanced accuracy, F1-score, sensitivity and specificity. For the best-performing model, 95% confidence intervals were computed on leakage-free (out-of-fold) cross-validated predictions using 2000 bootstrap resamples.

2.6. Explainable Artificial Intelligence (SHAP)

The decisions of the best model were explained using SHAP [6]. Using the TreeExplainer algorithm optimized for tree-based models, the contribution of each feature to the prediction for each patient was computed. Global feature importance was ranked by mean absolute SHAP values, while the direction and magnitude of feature effects were visualized using a SHAP beeswarm plot.

3. RESULTS

3.1. Model Comparison

The 5-fold $\times$ 10-repeat stratified cross-validation results of the seven algorithms are presented in Table 1. Random Forest and Extra Trees achieved the highest AUROC values (0.990 and 0.990, respectively). In terms of the overall performance balance (joint consideration of AUROC, sensitivity and specificity), Random Forest was selected as the best model.

Model	AUROC	Bal. Acc.	F1	Sensitivity	Specificity
Random Forest	0.990 $\pm$ 0.014	0.950	0.915	0.912	0.989
Extra Trees	0.990 $\pm$ 0.013	0.922	0.891	0.852	0.992
SVM-RBF	0.987 $\pm$ 0.011	0.948	0.895	0.915	0.982
Gradient Boosting	0.986 $\pm$ 0.018	0.946	0.890	0.912	0.981
Logistic Regression	0.966 $\pm$ 0.030	0.919	0.821	0.873	0.964
Gaussian Naive Bayes	0.945 $\pm$ 0.031	0.852	0.718	0.751	0.953
k-Nearest Neighbors	0.931 $\pm$ 0.046	0.887	0.796	0.803	0.971

Table 1. Performance of seven machine learning algorithms under 5-fold $\times$ 10-repeat stratified cross-validation (mean $\pm$ standard deviation).

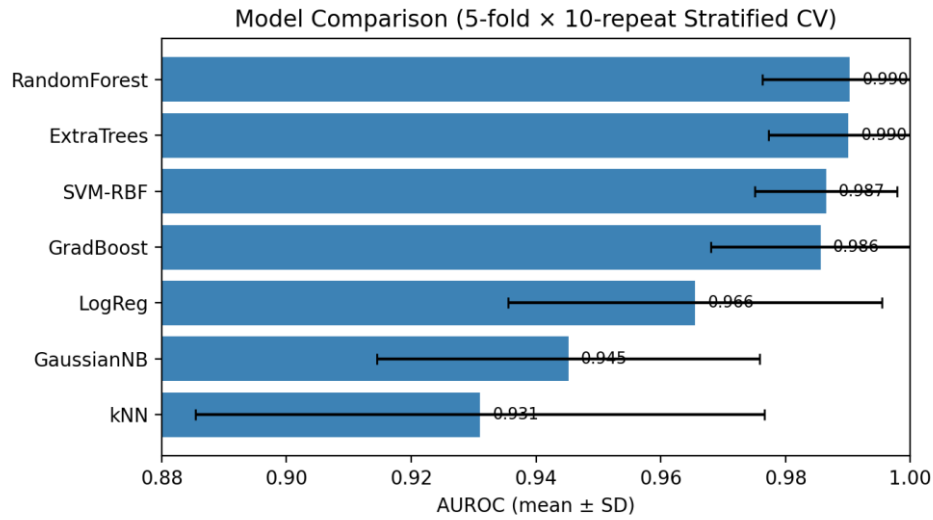


Figure 1. Comparison of the models by AUROC (mean $\pm$ standard deviation).

3.2. Performance of the Best Model

The detailed performance of the Random Forest model on leakage-free cross-validated predictions and the 95% bootstrap confidence intervals are given in Table 2. The model showed near-perfect discrimination with an AUROC of 0.989 (95% CI 0.972–0.999). According to the confusion matrix (Figure 3), 528 of 533 healthy individuals and 69 of 75 diseased individuals were correctly classified; only 6 false negatives and 5 false positives were observed. The negative predictive value (NPV) was 0.989 and the positive predictive value (PPV) was 0.932.

Metric	Value	95% Confidence Interval
AUROC	0.989	0.972 – 0.999
Balanced Accuracy	0.955	0.922 – 0.983
F1-score	0.926	0.878 – 0.966
Sensitivity	0.920	0.852 – 0.973
Specificity	0.991	0.982 – 0.998
Positive Predictive Value	0.932	0.871 – 0.985

Table 2. Leakage-free cross-validated performance of the Random Forest model and 95% confidence intervals from 2000 bootstrap resamples.

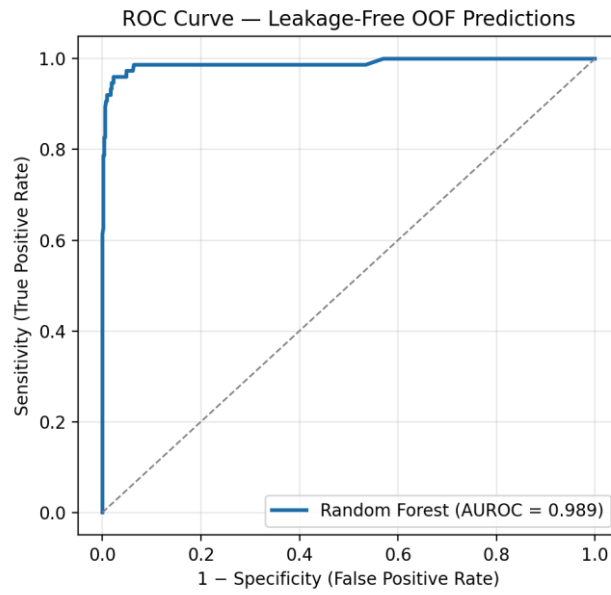


Figure 2. ROC curve of the Random Forest model based on out-of-fold (leakage-free) predictions.

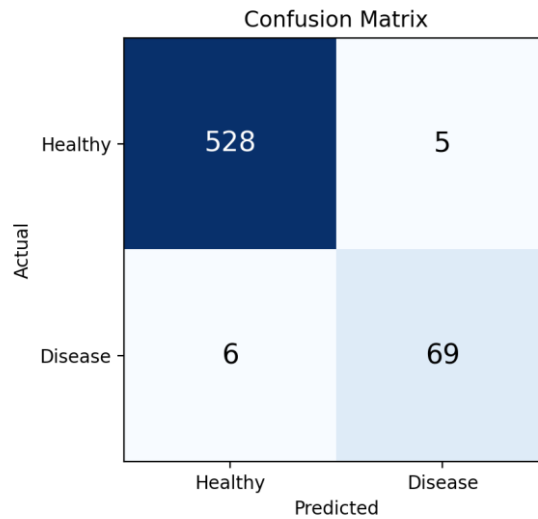


Figure 3. Confusion matrix (out-of-fold predictions).

3.3. Explainability (SHAP) Analysis

The global feature importance ranking from the SHAP analysis is presented in Table 3 and Figure 4. The most influential marker was AST (aspartate aminotransferase), with a mean absolute SHAP value of 0.220, followed by GGT (0.099), bilirubin (0.075), ALP (0.049) and ALT (0.042). These five parameters explain the majority of the model's decisions, and all are well-established clinical biomarkers of hepatocellular injury and hepatobiliary dysfunction.

Feature	Mean SHAP
AST (Aspartate aminotransferase)	0.2196
GGT (Gamma-glutamyl transferase)	0.0989
BIL (Bilirubin)	0.0747
ALP (Alkaline phosphatase)	0.0490

ALT (Alanine aminotransferase)	0.0421
CHOL (Cholesterol)	0.0274
CHE (Cholinesterase)	0.0148
CREA (Creatinine)	0.0124

Table 3. Global importance ranking of the top eight features by mean absolute SHAP value.

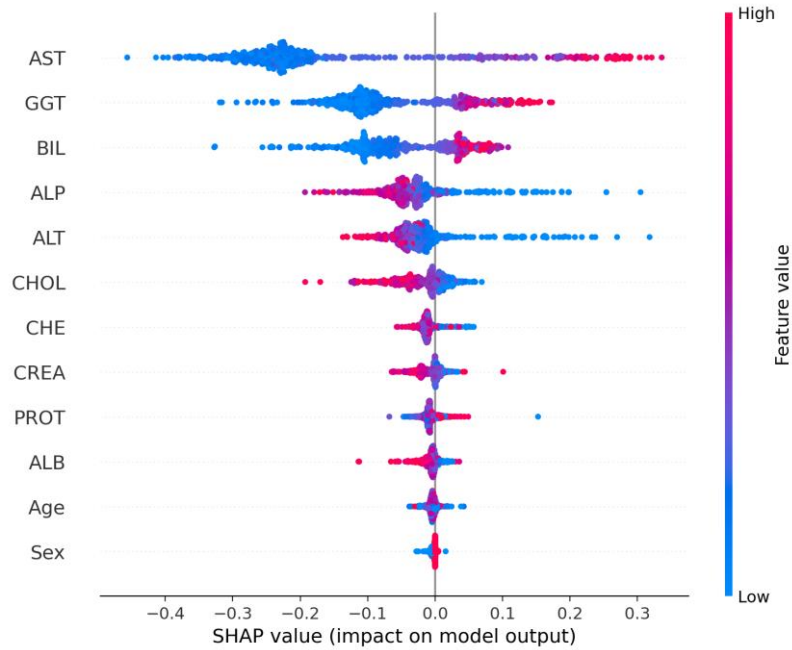


Figure 4. SHAP beeswarm plot. Each point represents a patient; positive SHAP values (to the right) indicate a contribution toward disease probability, and color indicates the magnitude of the feature value (red=high, blue=low).

The beeswarm plot (Figure 4) shows that high values of AST, GGT, bilirubin and ALP consistently produce positive SHAP values, pushing the model toward the “disease” direction. This directional relationship coincides exactly with the known elevation of these enzymes’ serum levels in liver injury and confirms that the model makes biologically plausible decisions.

4. DISCUSSION

In this study, an explainable machine learning model based on routine biochemical blood tests detected HCV-related liver diseases with high accuracy (AUROC = 0.989). The performance obtained is comparable to or better than similar studies in the literature [3,11]. However, the main contribution of this study lies not only in high performance but also in its methodological rigor and explainability.

First, by embedding all preprocessing and SMOTE balancing steps within cross-validation folds, data leakage was prevented. The commonly encountered error of applying SMOTE to the entire dataset leads to overly optimistic performance estimates [4]. Because the

performance estimate in this study is based on leakage-free (out-of-fold) predictions, it provides a more reliable estimate of real-world generalization.

Second, the SHAP analysis resolved the model's "black box" nature. The identification of AST, GGT, bilirubin, ALP and ALT as the most influential markers shows that the model makes decisions consistent with liver pathophysiology. AST and ALT are established indicators of hepatocellular injury, GGT and ALP of hepatobiliary dysfunction, and bilirubin of the liver's synthetic and excretory capacity. This consistency confers clinical trust in the model and demonstrates the value of the XAI approach in medical decision-support systems [5,6].

Clinically, the model's high negative predictive value (0.989) and specificity (0.991) point to its potential as a screening tool that can safely rule out low-risk individuals. Nevertheless, although a sensitivity of 92% is high, it indicates that a small fraction of diseased individuals (6/75) may be missed; therefore, the model should be positioned as a tool that supports rather than replaces clinician judgment.

The study has some limitations. First, the dataset was obtained from a single center (Germany) and offers limited diversity in terms of population and laboratory methods; external validity should be tested with independent, multicenter datasets. Second, the sample size of the disease group is relatively small ($n=75$), which is reflected in the width of the confidence intervals. Third, the study focused on binary classification; the multiclass discrimination of fibrosis stages (hepatitis/fibrosis/cirrhosis) may be the subject of future work. Finally, the exclusion of ambiguous "suspect blood donor" records has been transparently reported, and the effect of this decision on the results may be examined in the future under alternative grouping scenarios.

5. CONCLUSION

This study demonstrated that a leakage-free and explainable machine learning model based on routine, low-cost biochemical tests can detect HCV-related liver diseases with high accuracy (AUROC = 0.989; specificity = 0.991). The SHAP analysis revealed that the model's decisions rest on clinically verifiable liver biomarkers such as AST, GGT, bilirubin, ALP and ALT, conferring transparency and clinical trust. The results suggest that explainable AI-supported approaches may be promising, non-invasive decision-support tools for HCV screening in resource-limited settings. Future work will focus on external validation of the model on independent, multicenter datasets and its extension to multiclass fibrosis staging.

REFERENCES

1. World Health Organization. Hepatitis C [Fact sheet]. Geneva: WHO; 2024. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hepatitis-c>
2. Hoffmann G, Bietenbeck A, Lichtinghagen R, Klawonn F. Using machine learning techniques to generate laboratory diagnostic pathways—a case study. *J Lab Precis Med*. 2018;3:58.
3. Chicco D, Jurman G. An ensemble learning approach for enhanced classification of patients with hepatitis and cirrhosis. *IEEE Access*. 2021;9:24485–24498.
4. Kaufman S, Rosset S, Perlich C, Stitelman O. Leakage in data mining: formulation, detection, and avoidance. *ACM Trans Knowl Discov Data*. 2012;6(4):1–21.
5. Tjoa E, Guan C. A survey on explainable artificial intelligence (XAI): toward medical XAI. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*. 2021;32(11):4793–4813.
6. Lundberg SM, Lee SI. A unified approach to interpreting model predictions. *Adv Neural Inf Process Syst*. 2017;30:4765–4774.
7. Lichtinghagen R, Pietsch D, Bantel H, Manns MP, Brand K, Bahr MJ. The Enhanced Liver Fibrosis (ELF) score: normal values, influence factors and proposed cut-off values. *J Hepatol*. 2013;59(2):236–242.
8. Chawla NV, Bowyer KW, Hall LO, Kegelmeyer WP. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *J Artif Intell Res*. 2002;16:321–357.
9. Breiman L. Random forests. *Mach Learn*. 2001;45(1):5–32.
10. Pedregosa F, Varoquaux G, Gramfort A, Michel V, Thirion B, Grisel O, et al. Scikit-learn: machine learning in Python. *J Mach Learn Res*. 2011;12:2825–2830.
11. Değer SU, Can H. A predictive study on HCV using automated machine learning models. *Comput Biol Med*. 2025;188:109897.

MACHINE LEARNING-BASED CLINICAL PREDICTION MODELS: FROM DATA PREPARATION TO MODEL VALIDATION

Doç. Dr. Şeyma YAŞAR

İnönü Üniversitesi

seyma.yasar@inonu.edu.tr - 0000-0003-1300-3393

Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN,

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

hilal.yagin@gmail.com - 0000-0002-9848-7958

Abstract

The rapid digitalization of healthcare has generated large volumes of clinical, imaging, laboratory, and omics data, accelerating the adoption of machine learning (ML) for clinical prediction modeling. Unlike traditional statistical approaches, ML algorithms can capture complex and non-linear relationships among predictors and potentially improve diagnostic and prognostic accuracy. However, many published ML-based prediction models exhibit methodological shortcomings that limit reproducibility, generalizability, and clinical applicability. This narrative review synthesizes the methodological principles underlying ML-based clinical prediction models by integrating evidence from methodological studies, reporting guidelines, and representative healthcare applications. Key stages of model development, including data preprocessing, management of missing data, feature engineering and selection, prevention of data leakage, model training, performance evaluation, validation, and explainability, are critically discussed. Current evidence indicates that robust prediction models require systematic data preparation, adequate sample sizes, rigorous validation strategies, and transparent reporting. Internal validation approaches, particularly nested cross-validation and bootstrapping, reduce optimism bias and provide more reliable estimates of predictive performance, whereas external validation remains essential for evaluating transportability across different populations and healthcare settings. Furthermore, explainable artificial intelligence methods improve the interpretability of model predictions and facilitate clinical implementation. Although machine learning has substantial potential to enhance diagnosis, prognosis, and individualized treatment planning, predictive performance alone is insufficient for clinical adoption. Methodological rigor, reproducibility, explainability, and comprehensive validation constitute essential prerequisites for developing reliable and clinically meaningful prediction models.

Keywords: Machine learning; artificial intelligence; clinical prediction models; biostatistics; model validation; explainable artificial intelligence.

1. Introduction

Clinical prediction models constitute an essential component of evidence-based medicine. By combining multiple predictors, these models estimate the probability that a condition is already present (diagnostic models) or that an event will occur in the future (prognostic models), thereby supporting diagnostic decision-making, risk stratification, and individualized treatment planning [1,2]. Traditionally, prediction modelling has relied on conventional statistical techniques, particularly logistic regression and survival models. Although these methods remain valuable because of their interpretability and modest data requirements, they may underperform when relationships among predictors are highly complex and non-linear [1,2].

The emergence of electronic health records, high-throughput laboratory technologies, medical imaging, and multi-omics platforms has dramatically increased the dimensionality and complexity of healthcare data [3,4]. Consequently, machine learning approaches have attracted considerable attention because of their ability to process large datasets and identify intricate patterns that may escape conventional statistical methods [3,5]. This evolution has been described as a shift from hypothesis-driven modelling toward data-driven discovery, in which the algorithm learns the predictive structure directly from observed examples rather than from a pre-specified functional form [6].

Numerous studies have reported promising applications of machine learning in predicting disease onset, hospital mortality, treatment response, disease progression, and adverse clinical events [4,5,6]. Nevertheless, enthusiasm has often outpaced methodological rigor. Systematic reviews indicate that, for structured tabular data, machine learning does not consistently outperform well-developed logistic regression, and that many comparative studies are affected by methodological and reporting limitations [7,8]. A substantial proportion of published models suffer from inadequate handling of missing data, insufficient sample size, inappropriate variable selection, data leakage, and limited validation, which collectively produce overly optimistic performance estimates and reduce generalizability [7,9].

Accordingly, there is a growing need to integrate machine learning techniques with fundamental biostatistical principles [1,2]. The aim of this review is to provide a structured overview of the methodological stages involved in developing machine learning-based clinical prediction models-from data preparation to model validation-and to discuss the principal challenges that must be addressed before implementation in routine clinical practice.

2. Data Preparation and Preprocessing

Data preparation represents the cornerstone of predictive modelling; algorithms cannot compensate for poor data quality, and preprocessing frequently consumes the largest share of analytical effort [1].

Clinical datasets commonly contain missing values arising from incomplete documentation, laboratory failures, patient dropout, and inconsistent data collection. Complete-case analyses may substantially reduce statistical power and introduce bias, particularly when data are not missing completely at random [1,2]. The assumed missingness mechanism should therefore be

stated explicitly, and principled approaches such as multiple imputation by chained equations are generally preferred to single-value substitution [10].

Outlier detection is another important step. Because extreme observations may represent either measurement errors or clinically meaningful variations, outlier management should combine statistical criteria with clinical reasoning; the indiscriminate removal of extreme values can discard genuinely informative phenotypes [1]. Data normalization and standardization are often required, as several algorithms—such as support vector machines and neural networks—are sensitive to differences in variable scale, whereas categorical variables must be transformed using appropriate encoding schemes [5].

Class imbalance is a further recurrent challenge. Adverse outcomes such as mortality, recurrence, and rare complications often constitute minority classes, and conventional algorithms tend to favor the majority class, yielding misleading accuracy [5]. Resampling strategies—most notably the synthetic minority over-sampling technique—together with cost-sensitive learning and balanced ensembles can partially mitigate this problem [11]. Crucially, resampling must be confined to the training partition to avoid contaminating the evaluation set.

Sample size is frequently overlooked. An insufficient number of events per candidate predictor promotes overfitting and unstable estimates; formal sample-size calculation tailored to prediction models is therefore recommended at the design stage [9]. Finally, every preprocessing step—imputation, scaling, and resampling—should be fitted exclusively within the training data. When such operations are applied to the full dataset before partitioning, information from the test set leaks into the model and inflates apparent performance [1,7].

3. Feature Engineering and Variable Selection

Healthcare datasets increasingly exhibit high dimensionality, with hundreds or thousands of candidate predictors derived from laboratory measurements, imaging features, genomic information, and electronic health records [3,4].

Feature engineering transforms raw variables into informative predictors that improve performance and facilitate clinical interpretation, for example through composite indices, interaction terms, transformation of skewed variables, and extraction of meaningful representations from complex data [2]. Variable selection is equally important, because an excessive number of predictors increases computational burden and elevates the risk of overfitting, particularly when the number of predictors approaches the number of events [1,9]. The principal families of feature selection methods are summarized in Table 1.

Table 1. Main categories of feature selection methods used in clinical prediction modelling.

Category	Representative methods	Key characteristic
Filter	Correlation analysis, mutual information, univariate statistical tests	Evaluate variables independently of the algorithm; fast but ignore feature interactions.
Wrapper	Recursive feature elimination, sequential selection	Repeatedly train the model on different subsets; accurate but computationally expensive.

Embedded	LASSO regression, tree-based variable importance	Perform selection during model training; balance performance and computational cost.

Regularization approaches such as the least absolute shrinkage and selection operator (LASSO) shrink coefficients toward zero and perform selection during fitting, which is particularly useful in high-dimensional settings [12]. Regardless of the family chosen, feature selection must be nested within the validation procedure; performing selection on the full dataset before partitioning introduces information leakage and produces optimistic estimates [1,7].

4. Machine Learning Algorithms in Clinical Prediction

Several machine learning algorithms have been applied successfully in healthcare, each with distinct strengths and limitations [5,6]; their principal properties are compared in Table 2. Logistic regression remains an important benchmark because it produces interpretable coefficients and odds ratios at modest computational cost, although its additive and linear assumptions may inadequately represent complex biology [1,2].

Random forests construct numerous decision trees and aggregate their predictions, capturing non-linear associations and interactions while remaining robust to overfitting [13]. Support vector machines identify optimal separating hyperplanes and perform well in high-dimensional settings such as imaging and omics [5]. Gradient boosting algorithms-including XGBoost, LightGBM, and CatBoost-sequentially build models that minimize the residual errors of previous iterations and consistently achieve state-of-the-art accuracy on tabular biomedical data [14]. Artificial neural networks and deep learning architectures are increasingly influential, particularly for image and signal analysis, but their complexity limits interpretability and demands larger samples [15,4].

Table 2. Overview of commonly used machine learning algorithms in clinical prediction.

Algorithm	Strengths	Limitations	Typical use
Logistic regression	Interpretable; odds ratios; low computational cost	Assumes linearity/additivity; limited for complex interactions	Benchmark; risk scores
Random forest	Captures non-linearity and interactions; robust to overfitting	Lower interpretability; can be memory intensive	Tabular clinical data
Support vector machine	Effective in high-dimensional spaces	Sensitive to scaling; kernel/parameter tuning needed	Imaging; omics
Gradient boosting (XGBoost, LightGBM, CatBoost)	State-of-the-art accuracy on tabular data	Many hyperparameters; tuning required	Most structured prediction tasks
Neural networks / deep learning	Learns complex representations from raw data	Needs large samples; limited interpretability	Medical imaging; signals

No single algorithm universally outperforms all others; for structured tabular data in particular, careful regression modelling often matches more complex learners [7]. Model selection should therefore be guided by study objectives, sample characteristics, data structure, and interpretability requirements [5].

5. Model Performance Evaluation

Evaluation should extend well beyond simple discrimination metrics [1,16]. The area under the receiver operating characteristic curve (AUROC) is the most frequently reported indicator, yet high discrimination alone does not guarantee clinical usefulness [16].

Sensitivity and specificity quantify diagnostic performance at a chosen threshold, whereas precision and the F1-score are especially informative for imbalanced data. The Matthews correlation coefficient provides a balanced single-number summary because it incorporates all four cells of the confusion matrix. Calibration-the agreement between predicted and observed risk-is an equally critical and frequently neglected dimension: a poorly calibrated model can be misleading and even harmful despite excellent discrimination [16]. Decision curve analysis complements these measures by quantifying the net clinical benefit of a model across a range of decision thresholds [17]. The principal metrics are summarized in Table 3.

Table 3. Key performance metrics for evaluating clinical prediction models.

Metric	What it captures	Particularly useful when
AUROC	Ability to rank cases above non-cases (discrimination)	Comparing overall discriminative ability
Sensitivity / Specificity	Correct identification of positives / negatives	A clinical decision threshold is fixed
Precision / F1-score	Positive predictive value and its balance with recall	Outcome classes are imbalanced
Matthews correlation coefficient	Balanced summary of the full confusion matrix	A single robust score is needed for imbalance
Calibration (Brier score, ECE)	Agreement between predicted and observed risk	Predicted probabilities guide decisions
Decision curve analysis	Net clinical benefit across thresholds	Assessing real-world clinical utility

6. Model Validation

Validation is among the most important methodological stages and the principal safeguard against over-optimistic reporting [1,7]. Internal validation evaluates reproducibility within the development dataset and commonly employs hold-out validation, k-fold cross-validation, repeated cross-validation, bootstrapping, and nested cross-validation [1,2].

Nested cross-validation deserves particular emphasis because it performs hyperparameter tuning and feature selection in an inner loop while estimating generalization performance in an outer loop, thereby preventing information leakage and reducing optimism bias [1]. External validation remains the gold standard for assessing transportability and clinical applicability, ideally in populations that differ geographically, temporally, or institutionally from the development data [18,19]. Unfortunately, external validation remains substantially underutilized, and many reported models have never been tested beyond their development sample [8,7]. The main strategies are contrasted in Table 4.

Table 4. Internal and external validation strategies.

Strategy	Description	Principal advantage / caveat
Hold-out	Single train/test split	Simple but high variance with small samples
k-fold cross-validation	Data split into k folds, each used once for testing	Efficient use of data; choice of k matters

Repeated CV	k-fold CV repeated with different partitions	More stable estimates; higher computational cost
Bootstrapping	Resampling with replacement to estimate optimism	Good for small datasets; corrects optimism
Nested CV	Inner loop for tuning, outer loop for evaluation	Leakage-free performance estimate; computationally expensive
External validation	Evaluation on an independent population	Gold standard for transportability; often missing

7. Discussion

Machine learning has transformed clinical prediction modelling by enabling the analysis of increasingly complex healthcare datasets [3,4]. Nevertheless, methodological rigor remains essential for translating models into practice. Recurrent problems identified in the literature include inadequate handling of missing data, insufficient sample size, feature selection performed outside validation frameworks, neglect of calibration, scarce external validation, and incomplete reporting [7,8,19]. These pitfalls and corresponding safeguards are summarized in Table 5.

Table 5. Common methodological pitfalls in machine learning-based prediction studies and recommended safeguards.

Pitfall	Consequence	Recommended safeguard
Imputation/scaling before data splitting	Information leakage; optimistic estimates	Fit all preprocessing inside training folds
Feature selection on the full dataset	Inflated discrimination	Nest selection within cross-validation
Too few events per predictor	Overfitting; unstable models	A priori sample-size calculation
Reporting only AUROC	Hidden miscalibration	Report calibration and decision curve analysis
No external validation	Unknown transportability	Independent, temporal, or geographic validation
Incomplete reporting	Non-reproducibility	Follow TRIPOD+AI and assess bias with PROBAST

The development of explainable artificial intelligence offers promising opportunities to improve transparency and clinician acceptance. Model-agnostic methods such as SHapley Additive exPlanations (SHAP) [20] and Local Interpretable Model-agnostic Explanations (LIME) [21] illuminate prediction mechanisms at both the global and individual-patient level and may strengthen trust in artificial intelligence systems; such interpretability is increasingly regarded as a prerequisite rather than an optional addition to clinical deployment [4].

Future work should prioritize reproducibility, multicenter collaboration, prospective external validation, and adherence to contemporary reporting and appraisal standards. The TRIPOD+AI reporting guideline and the PROBAST risk-of-bias tool extend established frameworks to the specific risks of machine learning and provide practical checklists for authors, reviewers, and editors [22,19].

8. Conclusions

Machine learning-based clinical prediction models have enormous potential to improve disease diagnosis, prognosis, and personalized treatment planning [5,6,4]. However, successful clinical

implementation requires far more than high predictive performance. Robust data preprocessing, adequate sample size, appropriate feature engineering, prevention of information leakage, rigorous validation, calibration assessment, transparent reporting, and explainable artificial intelligence collectively determine model reliability and clinical utility [1,16,7].

The integration of biostatistical principles with machine learning techniques will be fundamental for ensuring that artificial intelligence systems become trustworthy, reproducible, and clinically meaningful tools capable of supporting evidence-based healthcare [2,22].

References

- [1] Steyerberg EW. Clinical Prediction Models. 2nd ed. Cham: Springer; 2019.
- [2] Harrell FE Jr. Regression Modeling Strategies. 2nd ed. Cham: Springer; 2015.
- [3] Beam AL, Kohane IS. Big data and machine learning in health care. JAMA. 2018;319(13):1317-1318.
- [4] Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. Nat Med. 2019;25(1):44-56.
- [5] Deo RC. Machine learning in medicine. Circulation. 2015;132(20):1920-1930.
- [6] Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. N Engl J Med. 2019;380(14):1347-1358.
- [7] Christodoulou E, Ma J, Collins GS, Steyerberg EW, Verbakel JY, Van Calster B. A systematic review shows no performance benefit of machine learning over logistic regression for clinical prediction models. J Clin Epidemiol. 2019;110:12-22.
- [8] Wynants L, Van Calster B, Collins GS, et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19: systematic review and critical appraisal. BMJ. 2020;369:m1328.
- [9] Riley RD, Ensor J, Snell KIE, et al. Calculating the sample size required for developing a clinical prediction model. BMJ. 2020;368:m441.
- [10] van Buuren S, Groothuis-Oudshoorn K. mice: multivariate imputation by chained equations in R. J Stat Softw. 2011;45(3):1-67.
- [11] Chawla NV, Bowyer KW, Hall LO, Kegelmeyer WP. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. J Artif Intell Res. 2002;16:321-357.
- [12] Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the lasso. J R Stat Soc Series B Stat Methodol. 1996;58(1):267-288.
- [13] Breiman L. Random forests. Mach Learn. 2001;45(1):5-32.
- [14] Chen T, Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system. In: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining; 2016. p. 785-794.
- [15] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. Nature. 2015;521(7553):436-444.
- [16] Van Calster B, McLernon DJ, van Smeden M, Wynants L, Steyerberg EW. Calibration: the Achilles heel of predictive analytics. BMC Med. 2019;17:230.
- [17] Vickers AJ, Elkin EB. Decision curve analysis: a novel method for evaluating prediction models. Med Decis Making. 2006;26(6):565-574.
- [18] Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, Moons KGM. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement. Ann Intern Med. 2015;162(1):55-63.

- [19] Wolff RF, Moons KGM, Riley RD, et al. PROBAST: a tool to assess the risk of bias and applicability of prediction model studies. *Ann Intern Med.* 2019;170(1):51-58.
- [20] Lundberg SM, Lee SI. A unified approach to interpreting model predictions. In: *Advances in Neural Information Processing Systems 30 (NeurIPS)*; 2017. p. 4765-4774.
- [21] Ribeiro MT, Singh S, Guestrin C. “Why should I trust you?” Explaining the predictions of any classifier. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*; 2016. p. 1135-1144.
- [22] Collins GS, Moons KGM, Dhiman P, et al. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *BMJ.* 2024;385:e078378.

AVOIDING DATA LEAKAGE IN HEALTH-BASED MACHINE LEARNING STUDIES: STATISTICAL PRINCIPLES AND PRACTICAL RECOMMENDATIONS

Doç. Dr. Şeyma YAŞAR
İnönü Üniversitesi

seyma.yasar@inonu.edu.tr - 0000-0003-1300-3393

Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN,
Malatya Turgut Özal Üniversitesi
hilal.yagin@gmail.com - 0000-0002-9848-7958

Abstract

Data leakage- the inadvertent use of information that would not legitimately be available at the moment of prediction- is one of the most common and consequential methodological flaws in health-based machine learning (ML). Leaked information produces over-optimistic performance during development that collapses on independent data, undermining reproducibility and clinical trust. This paper reviews the statistical principles underlying data leakage, presents a taxonomy of the leakage mechanisms most relevant to clinical and biomedical ML, and provides practical, stage-by-stage recommendations for prevention, detection, and transparent reporting. A narrative synthesis of methodological literature, reporting guidelines, and influential applied studies was conducted, integrating perspectives from biostatistics and clinical artificial intelligence. Leakage in health ML arises chiefly from target or label leakage, preprocessing and feature-selection performed before data partitioning, resampling applied to the whole dataset, model-selection and duplicate-record contamination, non-independent observations such as record-wise rather than subject-wise splitting, and temporal look-ahead. Key safeguards include anchoring the prediction task to the information available at decision time, splitting before any data-dependent step, patient-level grouped partitioning, fitting the entire pipeline inside cross-validation folds, nested cross-validation for tuning and selection, de-duplication, and external or temporal validation. Most leakage is preventable through disciplined data handling and transparent reporting. Treating leakage prevention as a core design requirement, rather than a post hoc check, is essential for reliable and clinically meaningful health ML.

Keywords: Data leakage; machine learning; clinical prediction models; cross-validation; reproducibility; model validation.

1. Introduction

Machine learning (ML) has been adopted rapidly across clinical and biomedical research, driven by the growth of electronic health records, imaging, and high-throughput laboratory data [1,2]. Yet a recurring observation is that impressive performance reported during model development frequently fails to reproduce when the model is applied to genuinely independent data. A leading cause of this gap is data leakage—the introduction of information about the prediction target that would not legitimately be available at the time a prediction must be made [3].

Leakage is not a niche concern. A cross-disciplinary survey identified leakage as a pervasive failure mode, documenting at least 294 affected papers across seventeen scientific fields and, in several cases, dramatically over-optimistic conclusions [4]. In medicine specifically, systematic reviews of imaging-based models for COVID-19 found that none of the examined models were of demonstrable clinical use, with leakage-related design flaws among the most common problems [5,6]. Furthermore, when leakage is properly controlled, the apparent advantage of complex ML over well-developed regression for structured clinical data often disappears, indicating that some reported gains reflect methodology rather than genuine predictive signal [7].

Because clinical decisions may ultimately rest on these models, leakage is not merely a statistical inconvenience but a patient-safety and reproducibility issue. The aim of this paper is to articulate the statistical principles that define leakage, to provide a taxonomy of the leakage mechanisms most relevant to health ML, and to offer concrete, stage-by-stage recommendations for prevention, detection, and reporting.

2. What Is Data Leakage? A Statistical Perspective

Formally, leakage is the unintentional introduction of predictive information about the target through the data collection, aggregation, or preparation process—information that should not be available to a deployed model [3]. The trivial case is using the outcome itself, or a direct proxy of it, as a predictor; in practice leakage is usually subtle and indirect, which is precisely what makes it dangerous [3].

The statistical principle violated is the independence between the development process and the data used to estimate generalization performance. A trustworthy estimate requires a strict separation between what the model learns from and what it is evaluated on— a “learn-predict” separation in which every quantity estimated from data (imputation parameters, scaling constants, selected features, tuned hyperparameters, decision thresholds) is derived only from the training portion [3,8]. When this separation is breached, the test set no longer represents unseen data, and the resulting performance estimate is biased upward— an inflation closely related to the broader phenomenon of optimism in model development [8,9].

3. A Taxonomy of Data Leakage in Health Machine Learning

Leakage manifests through several distinct mechanisms. Table 1 summarizes the principal types encountered in clinical and biomedical studies, together with representative examples and the corresponding primary safeguard.

Table 1. Principal types of data leakage in health-based machine learning.

Type	Mechanism	Example in health ML	Primary safeguard
Target (label) leakage	A predictor encodes the outcome or a post-outcome event	Using a treatment ordered after diagnosis, or a post-event laboratory value, to predict that diagnosis	Anchor features to the decision time point
Preprocessing leakage	Imputation/scaling fitted on the full dataset	Mean/variance or imputation model learned from train+test together	Fit all preprocessing inside training folds
Feature-selection leakage	Variables chosen using the whole dataset	Ranking features by association with the outcome before splitting	Nest selection within cross-validation
Resampling leakage	Class balancing applied before splitting	SMOTE/oversampling performed on the entire dataset	Resample only within the training fold
Model-selection leakage	Tuning or model choice informed by the test set	Reporting the best of many configurations evaluated on the test set	Use nested cross-validation
Duplicate / contamination	Same or near-identical records in train and test	Multiple images of one patient, or dataset overlap across public sources	De-duplicate; verify data provenance
Group / non-independence	Record-wise instead of subject-wise splitting	Several measurements per patient split across train and test	Patient-level (grouped) partitioning
Temporal leakage	Future information used to predict the past	Including data recorded after the prediction time, or outcome-dependent timing	Respect chronological order; temporal split

Several of these deserve emphasis in the health context. Preprocessing leakage is common because imputation and scaling feel like innocuous “data cleaning”; however, learning an imputation model such as multiple imputation by chained equations on the combined data lets test information influence training [10]. Resampling leakage is similarly frequent: applying the synthetic minority over-sampling technique before partitioning creates synthetic points that bridge train and test [11]. Group leakage is especially insidious in imaging and signal data, where multiple records per patient allow a model to recognize the individual rather than the disease; subject-wise (leave-one-subject-out) cross-validation rather than record-wise splitting is required to approximate the real clinical use-case [12,6]. Finally, duplicate and contamination problems- identical images or patients appearing in both partitions, or overlap between assembled public datasets- were among the dominant flaws in pandemic-era imaging models [5,4].

4. Statistical Consequences of Leakage

The hallmark consequence of leakage is optimism bias: development performance that overstates true generalization [3]. The magnitude can be large and is amplified in the small, high-dimensional datasets typical of biomarker and pilot studies, where even ordinary k-fold cross-validation yields strongly biased estimates while nested cross-validation remains approximately unbiased [13].

Beyond inflated discrimination, leakage distorts the entire evaluation. Reported calibration may appear excellent on contaminated data yet fail on real cases, and decision thresholds tuned under leakage do not transfer- so a model may seem clinically useful while offering no genuine net benefit [14]. The diagnostic signature is a marked drop in performance from internal to external

validation, a pattern repeatedly observed when leakage-affected models are tested on independent populations [15,5].

5. Detecting and Diagnosing Leakage

Leakage often announces itself through warning signs that should prompt scrutiny rather than celebration. Table 2 lists common signals and their likely causes [3].

Table 2. Warning signs suggestive of data leakage and their likely causes.

Warning sign	Likely underlying cause
Implausibly high performance (e.g., near-perfect AUROC) on a difficult task	Target leakage or train–test contamination
A large drop in performance from internal to external validation	Leakage during development; non-representative split
An identifier-like or administrative variable among the top features	A proxy that encodes site, batch, or outcome
Performance that worsens when switching to subject-wise splitting	Group/non-independence leakage
Performance that falls after isolating preprocessing inside folds	Preprocessing or resampling leakage
Accuracy that increases as sample size decreases across studies	Optimistic validation in small samples

Practical diagnostic steps include inspecting the most influential predictors for outcome proxies or site/batch identifiers, comparing record-wise with subject-wise validation, re-running the analysis with the full pipeline confined to training folds, and, whenever feasible, evaluating on a temporally or geographically distinct dataset [12,5].

6. Practical Recommendations for Prevention

Most leakage is preventable by disciplined data handling. The single most important principle is to split first and let nothing data-dependent precede the split. Figure 1 depicts the recommended leakage-free workflow; Table 3 then provides a stage-by-stage checklist, and Table 4 contrasts leaky and leakage-free placement of common preprocessing steps.

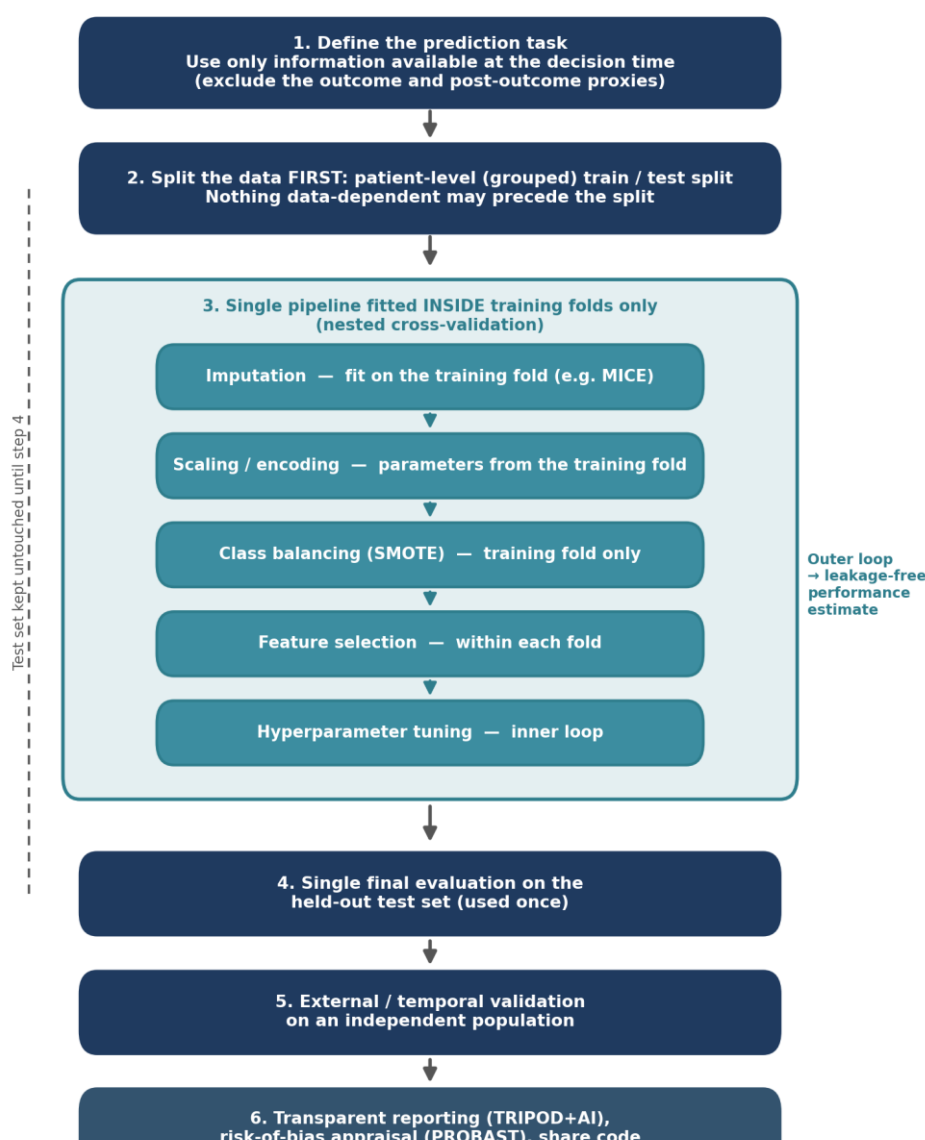


Figure 1. Recommended leakage-free workflow for health-based machine learning, from task definition through patient-level splitting and a fully nested pipeline to external validation and transparent reporting.

Table 3. Stage-by-stage checklist for preventing data leakage.

Stage	Recommended practice
Task definition	Specify the prediction time point and include only information available then; exclude post-outcome variables.
Data partitioning	Split before any data-dependent operation; use patient-level (grouped) splitting when multiple records per patient exist.
Preprocessing	Encapsulate imputation, scaling, and encoding in a pipeline fitted only on the training fold.
Class balancing	Apply resampling (e.g., SMOTE) inside the training fold only, never before splitting.
Feature selection & tuning	Nest selection and hyperparameter tuning within cross-validation; reserve a held-out set for a single final evaluation.
De-duplication	Remove duplicate/near-duplicate records and verify provenance and overlap of combined datasets.

Validation	Estimate generalization with nested cross-validation; confirm with external or temporal validation.
Reporting	Report per TRIPOD+AI and appraise risk of bias with PROBAST; share code to enable reproduction.

Adequate sample size should be planned a priori, since small samples both inflate optimism and make leakage harder to detect [16,13]. Where data are grouped, subject-wise partitioning is essential to mirror the clinical use-case [12]. The entire analytical pipeline- imputation, scaling, balancing, selection, and tuning- should be fitted exclusively within training folds and only then applied to held-out data, with nested cross-validation providing a leakage-free estimate of performance [8,13].

Table 4. Leaky versus leakage-free placement of common preprocessing steps relative to the train/test split.

Step	Leaky (incorrect)	Leakage-free (correct)
Imputation	Impute using statistics from the whole dataset	Fit the imputation model on training data; apply to test
Scaling / normalization	Compute mean/SD over train + test	Compute on training data; transform test with the same parameters
Feature selection	Select features on the full dataset	Select within each training fold
Resampling (SMOTE)	Balance classes before splitting	Balance only the training fold
Threshold selection	Choose the operating threshold on the test set	Choose on training/validation; evaluate once on test

External validation in an independent, ideally temporally or geographically distinct, population remains the strongest defense and the gold standard for assessing transportability [17,18]. Transparent reporting completes the safeguard: structured guidance such as TRIPOD+AI, together with risk-of-bias appraisal using PROBAST, makes leakage easier for authors, reviewers, and readers to detect [19,18].

7. Discussion

The evidence indicates that leakage is systemic rather than incidental, recurring across disciplines and persisting partly because incentives reward headline performance over methodological caution [4,5]. In medical imaging in particular, repeated reviews have traced over-optimistic results to a small set of avoidable design errors, several of which are leakage variants [6]. A constructive implication is that controlling leakage often matters more than the choice of algorithm: once leakage is removed, careful regression frequently matches more complex learners on structured clinical data [7].

Mitigation is therefore as much cultural as technical. Pre-specifying the prediction task, sharing code and data dictionaries, and adopting contemporary reporting and appraisal standards collectively reduce both the occurrence and the undetected persistence of leakage [4,19,18]. Treating leakage prevention as a design requirement- embedded from task definition through validation- rather than a final audit is the most reliable safeguard.

8. Conclusions

Data leakage is among the most common and damaging methodological failures in health-based machine learning, producing over-optimistic estimates that do not survive contact with

independent data [3,8]. The good news is that most leakage is preventable: anchoring features to the decision time, splitting before any data-dependent step, partitioning at the patient level, confining the whole pipeline to training folds, validating with nested cross-validation and on external data, and reporting transparently together neutralize the principal mechanisms.

When these principles are observed, machine learning can fulfil its considerable promise for diagnosis, prognosis, and individualized care [1,2,20]. The integration of sound biostatistical practice with modern ML- and adherence to standards such as TRIPOD+AI—will be decisive in producing prediction models that are trustworthy, reproducible, and clinically meaningful [9,19].

References

- [1] Beam AL, Kohane IS. Big data and machine learning in health care. *JAMA*. 2018;319(13):1317-1318.
- [2] Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med*. 2019;25(1):44-56.
- [3] Kaufman S, Rosset S, Perlich C, Stitelman O. Leakage in data mining: formulation, detection, and avoidance. *ACM Trans Knowl Discov Data*. 2012;6(4):Article 15.
- [4] Kapoor S, Narayanan A. Leakage and the reproducibility crisis in machine-learning-based science. *Patterns*. 2023;4(9):100804.
- [5] Roberts M, Driggs D, Thorpe M, et al. Common pitfalls and recommendations for using machine learning to detect and prognosticate for COVID-19 using chest radiographs and CT scans. *Nat Mach Intell*. 2021;3(3):199-217.
- [6] Varoquaux G, Cheplygina V. Machine learning for medical imaging: methodological failures and recommendations for the future. *NPJ Digit Med*. 2022;5:48.
- [7] Christodoulou E, Ma J, Collins GS, Steyerberg EW, Verbakel JY, Van Calster B. A systematic review shows no performance benefit of machine learning over logistic regression for clinical prediction models. *J Clin Epidemiol*. 2019;110:12-22.
- [8] Steyerberg EW. *Clinical Prediction Models*. 2nd ed. Cham: Springer; 2019.
- [9] Harrell FE Jr. *Regression Modeling Strategies*. 2nd ed. Cham: Springer; 2015.
- [10] van Buuren S, Groothuis-Oudshoorn K. mice: multivariate imputation by chained equations in R. *J Stat Softw*. 2011;45(3):1-67.
- [11] Chawla NV, Bowyer KW, Hall LO, Kegelmeyer WP. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. *J Artif Intell Res*. 2002;16:321-357.
- [12] Saeb S, Lonini L, Jayaraman A, Mohr DC, Kording KP. The need to approximate the use-case in clinical machine learning. *Gigascience*. 2017;6(5):1-9.
- [13] Vabalas A, Gowen E, Poliakoff E, Casson AJ. Machine learning algorithm validation with a limited sample size. *PLoS One*. 2019;14(11):e0224365.

- [14] Van Calster B, McLernon DJ, van Smeden M, Wynants L, Steyerberg EW. Calibration: the Achilles heel of predictive analytics. *BMC Med.* 2019;17:230.
- [15] Wynants L, Van Calster B, Collins GS, et al. Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19: systematic review and critical appraisal. *BMJ.* 2020;369:m1328.
- [16] Riley RD, Ensor J, Snell KIE, et al. Calculating the sample size required for developing a clinical prediction model. *BMJ.* 2020;368:m441.
- [17] Collins GS, Reitsma JB, Altman DG, Moons KGM. Transparent reporting of a multivariable prediction model for individual prognosis or diagnosis (TRIPOD): the TRIPOD statement. *Ann Intern Med.* 2015;162(1):55-63.
- [18] Wolff RF, Moons KGM, Riley RD, et al. PROBAST: a tool to assess the risk of bias and applicability of prediction model studies. *Ann Intern Med.* 2019;170(1):51-58.
- [19] Collins GS, Moons KGM, Dhiman P, et al. TRIPOD+AI statement: updated guidance for reporting clinical prediction models that use regression or machine learning methods. *BMJ.* 2024;385:e078378.
- [20] Rajkomar A, Dean J, Kohane I. Machine learning in medicine. *N Engl J Med.* 2019;380(14):1347-1358.

**EXPLAINABLE MACHINE LEARNING PREDICTION OF RECURRENCE IN
DIFFERENTIATED THYROID CANCER: A LAYERED MODEL COMPARISON
ALONG THE CLINICAL TIMELINE**

Doç. Dr. Şeyma YAŞAR

İnönü Üniversitesi

seyma.yasar@inonu.edu.tr - 0000-0003-1300-3393

Doç. Dr. Fatma Hilal YAĞIN,

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

hilal.yagin@gmail.com - 0000-0002-9848-7958

ABSTRACT

Differentiated thyroid cancer (DTC) generally has a favorable prognosis but carries a variable risk of recurrence that is progressively refined by information acquired at different points along the patient's clinical course. This study aimed to layer recurrence prediction along this clinical timeline and to quantify the incremental value of each information layer using explainable machine learning. The publicly available Differentiated Thyroid Cancer Recurrence dataset (n = 383; recurrence rate 28.2%) was used, and predictors were grouped into three layers along the clinical timeline: Layer 1 (preoperative/demographic), Layer 2 (+pathological features and TNM/ATA staging), and Layer 3 (+ATA response to therapy). For each layer, logistic regression, LASSO, random forest, XGBoost, and a radial-basis support vector machine were trained with repeated (5×5) stratified cross-validation, and performance was assessed by AUC, sensitivity, specificity, F1-score, balanced accuracy, and Brier score, while variable contributions were interpreted with SHAP. Predictive performance increased consistently across layers: the best AUC was 0.871 (LASSO) in Layer 1, 0.935 (XGBoost) in Layer 2, and 0.990 (XGBoost) in Layer 3, with the Layer 3 model achieving 91.6% sensitivity, 97.1% specificity, an F1 of 0.920, a balanced accuracy of 0.944, and good calibration (Brier = 0.032). ATA response to therapy was by far the most influential predictor, followed by age, ATA risk group, nodal status, and physical examination findings. Overall, DTC recurrence can be predicted with clinically useful accuracy even from preoperative information, approaching near-perfect discrimination as pathological staging and especially treatment response are added; however, because treatment response is a proximal indicator measured during follow-up (structural incomplete response is almost definitionally close to recurrence), the highest performance should be interpreted as a data-driven validation of ATA dynamic risk stratification, while the genuine clinical value lies in the earlier layers.

Keywords: Differentiated thyroid cancer; recurrence; machine learning; explainable artificial intelligence; SHAP; dynamic risk stratification.

1. INTRODUCTION

Thyroid cancer is the most common endocrine malignancy, and its incidence has increased markedly in recent years, largely owing to the widespread use of imaging [1]. The majority of cases are differentiated thyroid cancer (DTC; papillary and follicular subtypes), which arises from follicular epithelial cells. Although DTC generally has an excellent prognosis with low disease-specific mortality, recurrence after initial treatment occurs in a clinically important subset of patients and constitutes one of the central problems of management [2]. Accurate stratification of recurrence risk is essential for individualizing decisions such as the degree of thyrotropin suppression, the need for radioactive iodine therapy, and the intensity of follow-up [2].

The 2015 American Thyroid Association (ATA) guidelines recommend that recurrence risk be regarded not as a static, one-time estimate but as a dynamic, iterative process that begins in the peri-diagnostic period and continues through final follow-up [2]. In this framework, patients are first stratified by clinicopathological features and TNM staging, and are then reclassified according to their response to initial therapy (excellent, indeterminate, biochemical incomplete, or structural incomplete response) [3]. This response-based reassessment has been shown to predict final disease status better than baseline staging alone [3].

Machine learning methods are increasingly applied to predict DTC recurrence. A substantial portion of these studies rely on the Differentiated Thyroid Cancer Recurrence dataset compiled and publicly released by Borzooei and Tarokhian [4]. The original study that introduced this dataset compared different combinations of the ATA risk score and clinicopathological features and reported that their joint use achieved the best performance [5]. Nevertheless, many studies in the literature combine all variables (including treatment response) in a single model and report high accuracy, without sufficiently disentangling that these variables are obtained at different points along the clinical timeline- and therefore contribute differently to prediction.

The aim of this study is to layer DTC recurrence prediction along the clinical timeline and to transparently quantify the value added by each information layer: (i) preoperative/demographic information only, (ii) the addition of pathological features and staging, and (iii) the addition of ATA response to therapy. Five algorithms were compared with repeated stratified cross-validation, and the models were rendered interpretable with SHAP. This design answers the question “at which decision point, and with what accuracy, can recurrence be predicted?” and critically evaluates the nature of the high performance driven by treatment response.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset

We used the publicly available Differentiated Thyroid Cancer Recurrence dataset from the UCI Machine Learning Repository [4]. The dataset comprises 16 predictor variables capturing demographic, clinicopathological, and treatment-response information for 383 DTC patients, together with a binary recurrence outcome (Recurred: yes/no). Because the data are fully anonymized and publicly available, no additional ethics approval was required [4]. The dataset contains no missing values.

2.2. Layering of Variables Along the Clinical Timeline

The distinctive design of this study is the grouping of predictors into three layers according to when they become available in the patient's clinical course (the layer of each variable is indicated in Table 1):

Layer 1: Preoperative/demographic: age, gender, smoking, smoking history, history of radiotherapy, thyroid function, physical examination, and adenopathy (8 variables).

Layer 2: Pathology and staging: Layer 1 variables plus pathology subtype, focality, ATA risk group, and the TNM staging components (T, N, M) together with overall stage (15 variables).

Layer 3: Treatment response: Layer 2 variables plus ATA response to therapy (excellent / indeterminate / biochemical incomplete / structural incomplete) (16 variables). This variable is a dynamic indicator obtained during follow-up [3].

2.3. Preprocessing and Encoding

Ordinal variables (ATA risk: Low < Intermediate < High; T, N, M; overall stage; treatment response) were ordinally encoded according to their natural clinical order. Nominal variables (gender, smoking, history of radiotherapy, thyroid function, physical examination, adenopathy, pathology, focality) were one-hot encoded, and the single continuous variable (age) was standardized. To prevent data leakage, all encoding and scaling parameters were learned exclusively from the training data within each cross-validation fold.

2.4. Machine Learning Models and Cross-Validation

Five classification algorithms were trained for each layer: logistic regression, L1-penalized LASSO logistic regression [7], random forest (RF) [6], XGBoost [9], and a radial-basis support vector machine (SVM) [8]. To account for class imbalance (28.2% recurrence), balanced class weights were used for RF and SVM, and a scale_pos_weight equal to the negative/positive ratio was used for XGBoost [11]. Because the sample is relatively small ($n = 383$), instead of a single train–test split we applied repeated stratified cross-validation (5 folds $\times$ 5 repeats), and performance metrics are reported as the mean $\pm$ standard deviation across the 25 folds. The classification threshold was fixed at 0.50 for all models. Analyses were performed in Python (scikit-learn, xgboost, shap).

2.5. Model Evaluation and Explainability

Models were evaluated for discrimination using the area under the ROC curve (AUC); for threshold-based performance using sensitivity, specificity, precision, F1-score, and balanced accuracy; and for probability calibration using the Brier score [12]. Because missing a positive case is costly in a recurrence-screening context, sensitivity and balanced accuracy were treated as priority metrics. For interpretability, SHAP (Shapley Additive exPlanations) values were computed on the best model of the highest layer (Layer 3) to quantify the mean contribution of each variable to the recurrence prediction [10].

2.6. Statistical Analysis

Age, the only continuous variable, was summarized as median [interquartile range] and compared between recurrence groups with the Mann–Whitney U test. Categorical variables were summarized by frequency and recurrence rate, and their associations with recurrence were assessed with the chi-square or Fisher exact test. The Benjamini-Hochberg procedure was used

to control the false discovery rate across multiple comparisons. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

3. RESULTS

3.1. Descriptive Characteristics and Comparison of Recurrence Groups

Of the 383 patients in the study sample, 108 (28.2%) developed recurrence and 275 (71.8%) did not. The mean age was 40.9 ± 15.1 years (median 37 [29–51]; range 15–82), and patients who recurred were significantly older (median 44 vs. 36; $p < 0.001$). Among categorical variables, ATA response to therapy, ATA risk group, nodal status (N), adenopathy, tumor (T), and overall stage showed the strongest associations with recurrence (all $p < 0.001$). The ATA response to therapy was particularly striking: the recurrence rate was only 0.5% for an excellent response but reached 97.8% for a structural incomplete response. Similarly, the recurrence rate by ATA risk group was 4.8% for Low, 62.7% for Intermediate, and 100% for High. The group comparison for selected variables is presented in Table 1.

Table 1. Sample characteristics and comparison of selected variables by recurrence group (n = 383)

Variable (layer)	Overall	No recurrence (n=275)	Recurrence (n=108)	p
Age, median [IQR] (L1)	37 [29-51]	36 [28-46]	44 [32-62]	<0.001
Male gender, recurrence rate (L1)	—	—	59.2% (M) / 21.2% (F)	<0.001
Smoking (+), recurrence rate (L1)	—	—	67.3% vs 22.5%	<0.001
History of radiotherapy (+) (L1)	—	—	85.7% vs 27.1%	0.002
Adenopathy (L1)	—	—	None 10.8% / positive 62-100%	<0.001
ATA risk: Low/Intermediate/High (L2)	—	—	4.8% / 62.7% / 100%	<0.001
Nodal status N0/N1a/N1b (L2)	—	—	10.1% / 45.5% / 76.3%	<0.001
Distant metastasis M1 (L2)	—	—	100% vs 24.7% (M0)	<0.001
Focality: Multifocal (L2)	—	—	51.5% vs 15.4% (uni)	<0.001
ATA response to therapy (L3)	—	—	Excellent 0.5% → Structural incomplete 97.8%	<0.001

L1/L2/L3: the layer to which the variable belongs. Rates indicate the percentage of recurrence within the corresponding level. p values are from the Mann–Whitney U test (age) or chi-square/Fisher exact test (categorical), after Benjamini–Hochberg correction.

3.2. Layered Model Performance

Predictive performance increased consistently and substantially as clinical information layers were added. Even Layer 1, using preoperative variables only, achieved clinically useful discrimination (best AUC = 0.871; LASSO). With the addition of pathological features and staging, the best AUC in Layer 2 rose to 0.935 (XGBoost), and with the addition of treatment response, the best AUC in Layer 3 reached 0.990 (XGBoost). The best Layer 3 model achieved 91.6% sensitivity, 97.1% specificity, an F1 of 0.920, and a balanced accuracy of 0.944, together with a low Brier score (0.032), indicating both strong discrimination and good calibration. The performance of all layers and models is given in Table 2, the AUC comparison in Figure 1, and the ROC curves by layer in Figure 2. Pooled out-of-fold (OOF) AUC values from 5-fold cross-validation were 0.865 for Layer 1, 0.927 for Layer 2, and 0.991 for Layer 3. The best Layer 3 model correctly identified 100 of the 108 recurrence cases and produced only 8 false positives.

Table 2. Test performance (repeated 5×5 cross-validation) for the three layers and five models.

Layer	Model	AUC (±SD)	Sens.	Spec.	F1	Bal. acc.	Brier
Layer 1	LASSO	0.871 (0.049)	0.686	0.913	0.717	0.800	0.114
(preop)	XGBoost	0.865 (0.041)	0.722	0.843	0.680	0.782	0.139
	Logistic Reg.	0.863 (0.051)	0.674	0.911	0.707	0.792	0.118
	Random Forest	0.861 (0.029)	0.629	0.889	0.656	0.759	0.134
	SVM (RBF)	0.856 (0.044)	0.675	0.911	0.707	0.793	0.127
Layer 2	XGBoost	0.935 (0.024)	0.820	0.898	0.789	0.859	0.093
(+pathology/	LASSO	0.935 (0.026)	0.788	0.922	0.793	0.855	0.085
staging)	Logistic Reg.	0.931 (0.024)	0.779	0.927	0.792	0.853	0.086
	Random Forest	0.931 (0.024)	0.740	0.927	0.767	0.833	0.090
	SVM (RBF)	0.918 (0.025)	0.746	0.923	0.768	0.834	0.100
Layer 3	XGBoost	0.990 (0.010)	0.916	0.971	0.920	0.944	0.032
(+response)	Random Forest	0.987 (0.012)	0.894	0.984	0.924	0.939	0.037
	LASSO	0.985 (0.010)	0.911	0.979	0.927	0.945	0.035
	SVM (RBF)	0.981 (0.013)	0.902	0.967	0.908	0.934	0.043
	Logistic Reg.	0.980 (0.014)	0.911	0.973	0.920	0.942	0.037

Values are means across the 25 folds (±standard deviation for AUC). The highest AUC within each layer is in bold. Sens.: sensitivity; Spec.: specificity; Bal. acc.: balanced accuracy. Threshold = 0.50.

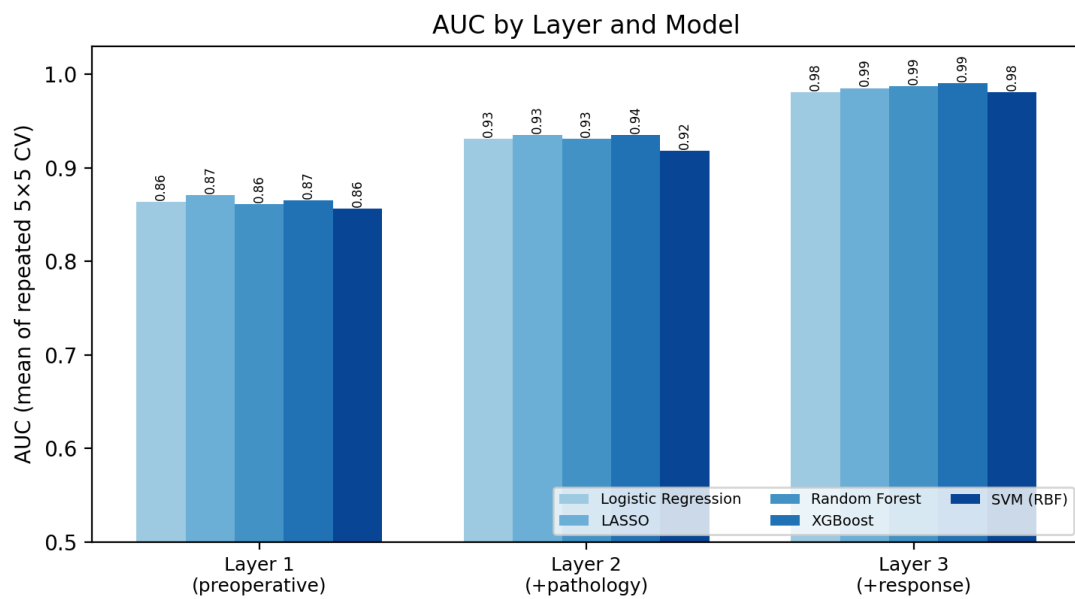


Figure 1. AUC values by layer and model (mean of repeated 5×5 cross-validation).

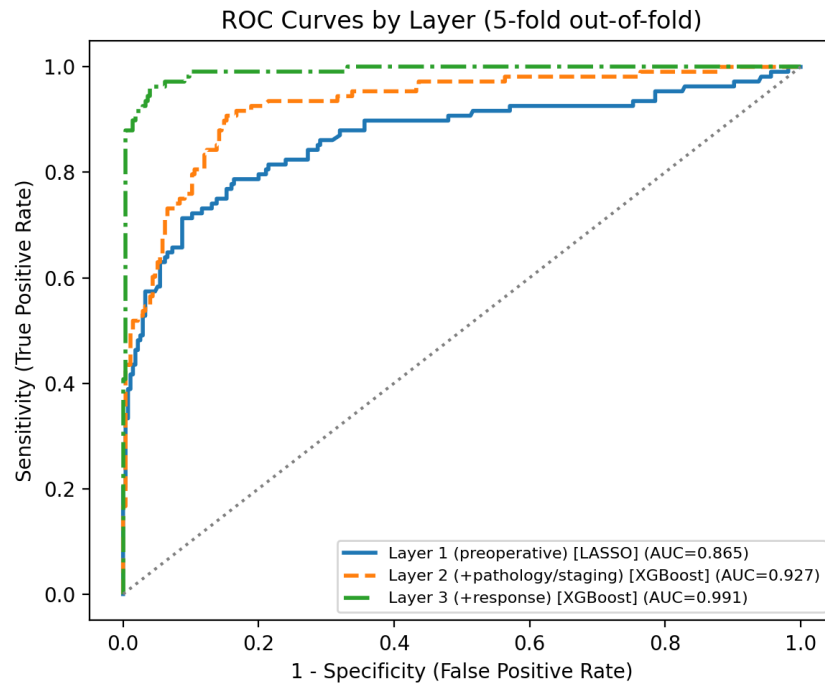


Figure 2. ROC curves for the best model of each layer (5-fold out-of-fold predictions)

3.3. SHAP Feature Importance and Interpretability

The SHAP values computed on the best Layer 3 model (XGBoost) clarify the source of its high performance (Figure 3). ATA response to therapy is by far the most dominant predictor, well beyond all other variables. It is followed, in order, by age, ATA risk group, nodal status (N), and physical examination findings (multinodular goiter). Gender, tumor (T) stage, overall stage, and pathology subtype (Hürthle cell) also contribute meaningfully to the model. This pattern is consistent both with the clinical logic of ATA dynamic risk stratification and with established prognostic factors such as age, nodal spread, and risk group [2].

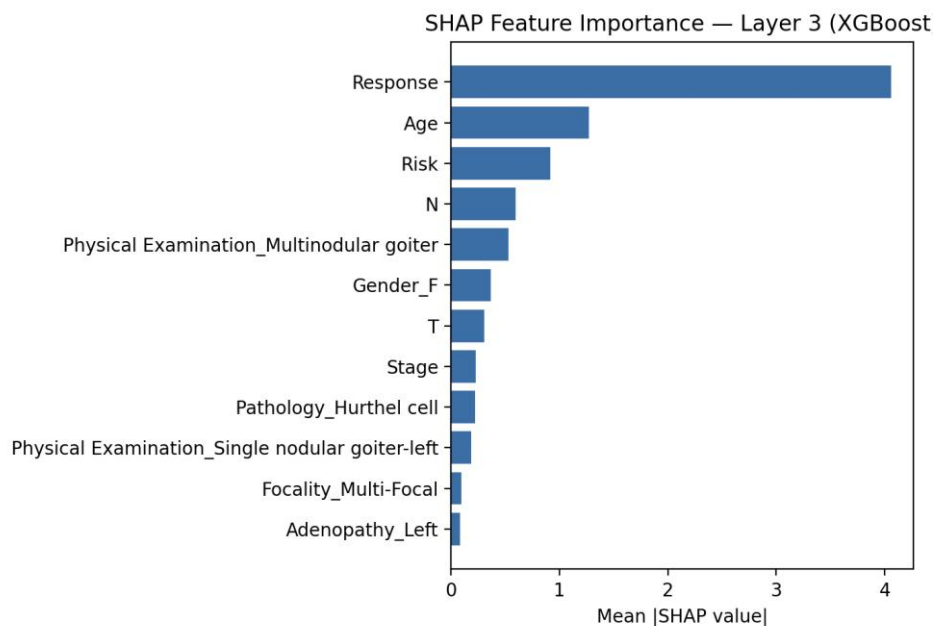


Figure 3. SHAP-based feature importance for the Layer 3 (XGBoost) model (mean |SHAP value|)

4. DISCUSSION

In this study, DTC recurrence prediction was layered along the clinical timeline, and the value added by each information layer was quantified with explainable machine learning. The most striking finding is that predictive performance follows a consistent gradient across layers: AUC ≈ 0.87 with preoperative information, ≈ 0.94 with the addition of pathology and staging, and ≈ 0.99 with the addition of treatment response. This gradient quantitatively reflects the nature of the clinical decision-making process.

The most clinically valuable result lies in the often-overlooked Layer 1. The fact that recurrence can be predicted with an AUC of ≈ 0.87 using only preoperative and demographic information shows that high-risk patients can be reasonably identified even before surgery and treatment-response data are available. This is a practical opportunity to personalize preoperative counseling, surgical planning, and follow-up intensity at an early stage. Adding pathology and staging (Layer 2) substantially strengthens this prediction and provides a more precise postoperative risk estimate.

In contrast, the near-perfect performance of Layer 3 should be interpreted with caution. ATA response to therapy is not, like the other variables, a baseline risk factor; it is a proximal and dynamic indicator determined during follow-up according to the response to initial therapy [3]. Indeed, in our descriptive analysis, 97.8% of patients with a structural incomplete response experienced recurrence- an almost definitional proximity. The AUC of ≈ 0.99 in Layer 3 should therefore be read not as “early recurrence prediction” but essentially as a data-driven validation of the concept of ATA dynamic risk stratification [2] [3]. The dominance of treatment response in the SHAP analysis directly supports this interpretation. Accordingly, the genuine added value of the model should be sought in the earlier layers, before treatment response is available.

Our findings are consistent with, yet methodologically distinct from, the original study that introduced this dataset. Whereas Borzooei et al. [5] organized their feature sets around the ATA risk score (without risk, risk only, all features), we layered the variables along the clinical timeline. This design directly answers the question “at which decision point, and with what accuracy, is prediction possible?” and isolates the artificially high performance produced by treatment response. The factors highlighted by SHAP- age, ATA risk group, nodal spread, and staging- overlap with well-known prognostic markers in DTC [2], supporting the clinical validity of the model.

Strengths of the study include the novel layered design based on the clinical timeline, the use of repeated stratified cross-validation appropriate for a small sample, the reporting of calibration (Brier score), the handling of class imbalance through weighting, and transparent interpretability with SHAP. Limitations should also be considered: the dataset is single-center and relatively small ($n = 383$); no independent external validation set was used; the classification threshold was fixed at 0.50 and should be tuned to the desired sensitivity–specificity trade-off in clinical use. Moreover, because the dataset does not include time-to-recurrence, time-dependent (survival) modeling was not possible. Future work should pursue external validation across centers, threshold optimization, survival analyses accounting for time

to recurrence, and translation into a clinical decision-support tool with individual-level SHAP explanations.

5. CONCLUSION

In differentiated thyroid cancer, recurrence can be predicted with clinically useful accuracy ($AUC \approx 0.87$) even from preoperative information, approaching near-perfect discrimination as pathological staging (≈ 0.94) and especially treatment response (≈ 0.99) are added. However, because treatment response- the variable yielding the highest performance- is a proximal indicator measured during follow-up, this result should be interpreted as a validation of ATA dynamic risk stratification. The genuine clinical opportunity lies in the strong prediction obtained in the earlier layers, before treatment response is available. Supported by explainable machine learning, this layered approach provides a transparent framework that can help personalize recurrence-risk assessment according to the relevant clinical decision points.

REFERENCES

- [1] Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, Jemal A. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2024;74(3):229-263.
- [2] Haugen BR, Alexander EK, Bible KC, Doherty GM, Mandel SJ, Nikiforov YE, et al. 2015 American Thyroid Association Management Guidelines for Adult Patients with Thyroid Nodules and Differentiated Thyroid Cancer. *Thyroid.* 2016;26(1):1-133.
- [3] Tuttle RM, Tala H, Shah J, Leboeuf R, Ghossein R, Gonen M, et al. Estimating risk of recurrence in differentiated thyroid cancer after total thyroidectomy and radioactive iodine remnant ablation: using response to therapy variables to modify the initial risk estimates predicted by the new American Thyroid Association staging system. *Thyroid.* 2010;20(12):1341-1349.
- [4] Borzooei S, Tarokhian A. Differentiated Thyroid Cancer Recurrence [Dataset]. UCI Machine Learning Repository; 2023. doi:10.24432/C5632J.
- [5] Borzooei S, Briganti G, Golparian M, Lechien JR, Tarokhian A. Machine learning for risk stratification of thyroid cancer patients: a 15-year cohort study. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 2024;281(4):2095-2104.
- [6] Breiman L. Random forests. *Mach Learn.* 2001;45(1):5-32.
- [7] Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the lasso. *J R Stat Soc Series B Stat Methodol.* 1996;58(1):267-288.
- [8] Cortes C, Vapnik V. Support-vector networks. *Mach Learn.* 1995;20(3):273-297.
- [9] Chen T, Guestrin C. XGBoost: a scalable tree boosting system. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining.* New York: ACM; 2016. p. 785-794.
- [10] Lundberg SM, Lee SI. A unified approach to interpreting model predictions. In: *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).* 2017;30:4765-4774.

- [11] He H, Garcia EA. Learning from imbalanced data. IEEE Trans Knowl Data Eng. 2009;21(9):1263-1284.
- [12] Steyerberg EW, Vickers AJ, Cook NR, Gerds T, Gonen M, Obuchowski N, et al. Assessing the performance of prediction models: a framework for traditional and novel measures. Epidemiology. 2010;21(1):128-138.

**DESIGN AND INVESTIGATION OF FUNCTIONALLY GRADED SHAPE
MEMORY ALLOYS**
**FONKSİYONEL DERECELENDİRİLMİŞ ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLARIN
TASARIMI VE İNCELEMESİ**

Öğr. Gör. Dr. Ümit Zeybek

Dokuz Eylül Üniversitesi

umit.zeybek@deu.edu.tr - ORCID ID:0000-0002-5164-3749

ABSTRACT

Functionally graded materials (FGM) are innovative engineering materials that stand out with their properties that change throughout their structures. Gradual transitions in composition reduce thermal and mechanical stresses caused by sudden interfaces, increasing the durability and life of the material. Such materials can exhibit superior performance against different environmental conditions while maintaining their structural integrity. Thanks to these properties, interest in FGMs is increasing in applications requiring long-term structural strength and functional stability. FGMs offer reliable solutions in high-tech fields such as aerospace, defense, automotive and biomedical. They attract attention with their ability to maintain structural integrity in environments where high temperatures, wear and mechanical stress are seen.

This study examines how shape memory alloys (SMA) can be designed with a functional grading approach. Graded SMA structures (FG-SMA) can exhibit different transformation temperatures, mechanical responses and energy behaviors in different regions. This makes them suitable for multifunctional systems. This diversity enables the material to respond differently to service conditions in different regions. In the study, the composition and microstructure changes depending on the position, especially in NiTi-based alloys, were discussed. It was evaluated how the transformation temperatures, hysteresis width and energy parameters were affected. It was emphasized how the desired transformation characteristics in FG-SMA systems can be directed through material design.

In line with the studies in the literature, general trends related to transformation temperatures, microstructural properties and functional performance were evaluated. In addition, current research trends for more precise control of transformation behaviors were also mentioned. The evaluations made reveal the potential of FG-SMA systems in engineering applications. Thus, the basic variables that should be considered in material design for multifunctional structures were emphasized. In this respect, the study aims to contribute to the understanding of functionally graded shape memory alloys and their evaluation in advanced engineering applications. The information presented can also form the basis for future experimental and computational studies.

Keywords: Functional grading, Shape memory alloys (SMA), Material design, NiTi alloys.

ÖZET

Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemeler (FGM), yapıları boyunca değişen özellikleriyle öne çıkan yenilikçi mühendislik malzemeleridir. Kompozisyondaki kademeli geçişler, ani arayüzlerin neden olduğu termal ve mekanik gerilimleri azaltarak malzemenin dayanıklılığını ve ömrünü artırmaktadır. Bu tür malzemeler, yapısal bütünlüklerini koruyarak farklı çevresel koşullara karşı üstün performans sergileyebilir. Bu özellikler sayesinde, uzun süreli yapısal dayanım ve fonksiyonel kararlılık gerektiren uygulamalarda FGM'lere yönelik ilgi giderek artmaktadır. FGM'ler; uzay, savunma, otomotiv ve biyomedikal gibi yüksek teknoloji gerektiren alanlarda güvenilir çözümler sunar. Yüksek sıcaklık, aşınma ve mekanik zorlanmanın görüldüğü ortamlarda yapısal bütünlüğü koruma yetenekleri ile dikkat çekerler.

Bu çalışma, şekil hafızalı alaşımların (SMA) fonksiyonel derecelendirme yaklaşımıyla nasıl tasarlanabileceğini ele alınmaktadır. Derecelendirilmiş SMA yapıları (FG-SMA), farklı bölgelerde farklı dönüşüm sıcaklıkları, mekanik yanıtlar ve enerji davranışları gösterebilmektedir. Bu da onları çok işlevli sistemler için uygun hale getirmektedir. Bu çeşitlilik, malzemenin farklı bölgelerde hizmet koşullarına göre farklı tepkiler verebilmesini mümkün kılmaktadır. Çalışmada, özellikle NiTi tabanlı alaşımlarda bileşim ve mikroyapının konuma bağlı değişimi ele alınmıştır. Dönüşüm sıcaklıklarının, histerezis genişliği ve enerji parametrelerinin nasıl etkilendiği değerlendirilmiştir. FG-SMA sistemlerinde istenen dönüşüm karakteristiğinin malzeme tasarımı yoluyla nasıl yönlendirilebileceği üzerine durulmuştur.

Literatürde yer alan çalışmalar doğrultusunda, dönüşüm sıcaklıkları, mikroyapısal özellikler ve işlevsel performansla ilişkili genel eğilimler değerlendirilmiştir. Ayrıca, dönüşüm davranışlarının daha hassas şekilde kontrolüne yönelik güncel araştırma yönelimlerine de değinilmiştir. Yapılan değerlendirmeler, FG-SMA sistemlerinin mühendislik uygulamalarındaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Böylece, çok işlevli yapılar için malzeme tasarımında dikkate alınması gereken temel değişkenler vurgulanmıştır. Sunulan bilgiler, ileride yapılacak deneysel ve hesaplamalı çalışmalara da temel oluşturabilecek niteliktedir.

Anahtar Kelimeler : Fonksiyonel derecelendirme, Şekil hafızalı alaşımlar (SMA), Malzeme tasarımı, NiTi alaşımlar.

**MULTI-CRITERIA SELECTION OF ANIMAL-BASED NATURAL FIBER
MATERIALS USING AN INTEGRATED GINI-COPRAS-MOORA-MARCOS
FRAMEWORK**

Asst. Prof. Dr., Adem Avcu

Hasan Kalyoncu University,
adem.avcu@hku.edu.tr - 0000-0001-9981-5311

ABSTRACT

Systematic material selection is regarded as an alternative to the use of reinforcement in composite materials, due to the multidimensional trade-offs involved among conflicting mechanical and physical performance criteria. This study proposed an integrated multi-criteria decision-making (MCDM) approach to evaluate and rank six natural animal fibres—namely, wool, silk, alpaca, camel hair, cashmere, and yak wool—based on four essential design criteria: The following parameters are to be measured: density, tensile strength, elastic modulus and elongation at failure. In order to establish a data-driven evaluation process, the Gini coefficient-based weighting method (Gini weights) was deployed in order to calculate the relative importance of each criterion. The execution of three MCDM techniques operating under distinct mathematical structures was subsequently undertaken. The aforementioned techniques comprised Complex Proportional Assessment (COPRAS), Multi-Objective Optimization on the basis of Ratio Analysis (MOORA), and Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS). The execution of these techniques was undertaken in a Python environment, with the objective of determining alternative preference scores and final rankings. A Spearman rank correlation analysis was also conducted to statistically measure the consistency and directional alignment among the applied ranking models. The MCDM ranking results demonstrated that Silk attained the highest rank across all three methods due to its high tensile strength and stiffness. Concurrently, the correlation analysis confirmed a high degree of consensus among the deployed MCDM frameworks. This study indicates that combining Gini-based weights with compromise ranking methods can provide a stable and mathematically viable decision-support framework for high-performance bio-material design and selection.

Keywords: Material Selection, Natural Fibers, MCDM, Gini Weights, COPRAS, MOORA, MARCOS.

BÜTÜNLEŞİK BİR GINI-COPRAS-MOORA-MARCOS ÇERÇEVESİ KULLANILARAK HAYVANSAL BAZLI DOĞAL LİF MALZEMELERİNİN ÇOK KRİTERLİ SEÇİMİ

Dr. Öğr. Üyesi, Adem Avcu
Hasan Kalyoncu Üniversitesi,
adem.avcu@hku.edu.tr - 0000-0001-9981-5311

ÖZET

Sistematiik malzeme seçimi, çelişkili mekanik ve fiziksel performans kriterleri arasındaki çok boyutlu ödünleşmeler nedeniyle kompozit malzemelerde takviye kullanımına bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma, altı doğal hayvan lifini (yün, ipek, alpaka, deve tüyü, kaşmir ve yak yünü) dört temel tasarım kriterine göre değerlendirmek ve sıralamak için entegre bir çok kriterli karar verme (MCDM) yaklaşımı önermiştir: Ölçülecek parametreler şunlardır: yoğunluk, çekme dayanımı, elastik modül ve kopma uzaması. Veriye dayalı bir değerlendirme süreci oluşturmak için, her bir kriterin göreceli önemini hesaplamak amacıyla Gini katsayısına dayalı ağırlıklandırma yöntemi (Gini ağırlıkları) kullanılmıştır. Daha sonra, farklı matematiksel yapılar altında çalışan üç MCDM tekniğinin uygulanması gerçekleştirilmiştir. Söz konusu teknikler; Karmaşık Orantılı Değerlendirme (COPRAS), Oran Analizi Temelinde Çok Amaçlı Optimizasyon (MOORA) ve Uzlaşma Çözümüne Göre Alternatiflerin Ölçülmesi ve Sıralanması (MARCOS) tekniklerini içermektedir. Bu tekniklerin uygulanması, alternatif tercih puanlarını ve nihai sıralamaları belirlemek amacıyla Python ortamında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan sıralama modelleri arasındaki tutarlılığı ve yönsel uyumu istatistiksel olarak ölçmek için Spearman sıra korelasyon analizi de yapılmıştır. Çok Kriterli Karar Verme (MCDM) sıralama sonuçları, ipeğin yüksek çekme dayanımı ve sertliği nedeniyle üç yöntemin tamamında en yüksek sıralamayı elde ettiğini göstermiştir. Eş zamanlı olarak, korelasyon analizi, kullanılan MCDM çerçeveleri arasında yüksek derecede bir fikir birliği olduğunu doğrulamıştır. Bu çalışma, Gini tabanlı ağırlıkların uzlaşma sıralama yöntemleriyle birleştirilmesinin, yüksek performanslı biyomalzeme tasarımı ve seçimi için istikrarlı ve matematiksel olarak uygulanabilir bir karar destek çerçevesi sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme Seçimi, Doğal Lifler, ÇKKV, Gini Ağırlıkları, COPRAS, MOORA, MARCOS.

A COMPARATIVE MCDM APPROACH FOR PLANT-BASED FIBER SELECTION IN COMPOSITE MATERIALS UNDER OBJECTIVE CRITERIA WEIGHTS

Asst. Prof. Dr., Adem Avcu

Hasan Kalyoncu University,
adem.avcu@hku.edu.tr - 0000-0001-9981-5311

ABSTRACT

The paradigm of sustainable engineering necessitates a meticulous assessment of bio-composites, where identifying the optimal organic reinforcement involves balancing competing geometric and mechanical attributes. The present research proposes a comprehensive Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) framework designed to assess and rank five significant natural plant fibres—specifically banana, nettle, ramie, bamboo, and kenaf—utilising four critical design parameters: The following parameters are to be measured: density, tensile strength, elastic modulus and elongation at break. In order to guarantee a data-driven and impartial evaluation, the relative importance weights of each design criterion are calculated objectively by means of the CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) technique. In this study, three distinct MCDM methodologies are utilised, each characterised by a unique mathematical framework. These methodologies, namely Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje), and Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations II (PROMETHEE II), are implemented within a Python programming environment to facilitate the calculation of alternative preference ratings and the subsequent establishment of final rankings. In addition, a Spearman rank correlation coefficient analysis is conducted to statistically evaluate the alignment and structural consistency across the implemented decision models. The resulting study serves as a decision-support tool, enabling engineers to systematically select the most appropriate natural bio-materials while eliminating personal subjectivity.

Keywords: : Material Selection, Plant Fibers, MCDM, CRITIC Method, TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE II.

OBJEKTİF KRİTER AĞIRLIKLARI ALTINDA KOMPOZİT MALZEMELERDE BİTKİ BAZLI LİF SEÇİMİ İÇİN KARŞILAŞTIRMALI BİR ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME (ÇKKV) YAKLAŞIMI

Dr. Öğr. Üyesi, Adem Avcu
Hasan Kalyoncu Üniversitesi,
adem.avcu@hku.edu.tr - 0000-0001-9981-5311

ÖZET

Sürdürülebilir mühendislik paradigması, biyo-kompozitlerin titiz bir şekilde değerlendirilmesini gerektirir; bu süreçte en uygun organik takviye malzemesinin belirlenmesi, birbiriyle çelişen geometrik ve mekanik özelliklerin dengelenmesini içerir. Bu çalışma; muz, ısırgan otu, rami, bambu ve kenaf olmak üzere beş önemli doğal bitki lifini, yoğunluk, çekme dayanımı, elastisite modülü ve kopma uzaması gibi dört kritik tasarım parametresini kullanarak değerlendiren ve sıralayan kapsamlı bir Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) çerçevesi sunmaktadır. Veriye dayalı ve tarafsız bir değerlendirme sağlamak amacıyla, her bir tasarım kriterinin göreceli önem ağırlıkları, CRITIC (Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi) tekniği kullanılarak nesnel bir şekilde hesaplanmıştır. Çalışmada, her biri kendine özgü matematiksel bir yapıya sahip üç farklı ÇKKV yöntemi kullanılmıştır. İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralaması Tekniği (TOPSIS), VIKOR (ViseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) ve Zenginleştirilmiş Değerlendirmeler için Tercih Sıralama Organizasyon Yöntemi II (PROMETHEE II) olarak adlandırılan bu yöntemler, alternatif tercih puanlarının hesaplanmasını ve nihai sıralamaların oluşturulmasını kolaylaştırmak amacıyla Python programlama ortamında uygulanmıştır. Ayrıca, uygulanan karar modelleri arasındaki uyumu ve yapısal tutarlılığı istatistiksel olarak değerlendirmek için Spearman sıra korelasyon katsayısı analizi gerçekleştirilmiştir. Ortaya çıkan bu çalışma, kişisel öznelliği ortadan kaldırırken mühendislerin en uygun doğal biyo-malzemesi sistematik bir şekilde seçmelerine olanak tanıyan bir karar destek aracı işlevi görmektedir.

Anahtar Kelimeler: Malzeme Seçimi, Bitkisel Lifler, ÇKKV, CRITIC Yöntemi, TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE II.

A NUMERICAL STUDY ON THE EFFECT OF ADDING OBSTACLES TO THE ABSORBER PLATE OF A SOLAR AIR HEATER EQUIPPED WITH A PCM UNIT

Ataollah KHANLARI

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Tarsus University, Mersin,
Türkiye,

E-posta Adresi: atahanlar@tarsus.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9691-9799

ABSTRACT

In recent years, phase change materials (PCMs) have been widely integrated into solar air heaters to upgrade thermal energy storage and raise the operating period of the system. The goal of this study is to enhance the thermal performance of a solar air heater equipped with a PCM unit. Accordingly, the flow channel of a single-flow solar air heater equipped with a PCM unit was modified to improve its overall performance. To enhance the thermal performance of the system, obstacles were added to the absorber plate of the solar air heater. Moreover, porous baffles were integrated into the PCM section to promote faster melting of the phase change material. The numerical simulations of the obstacle-enhanced PCM-integrated solar air heater were performed using ANSYS Fluent. In addition to the modified solar air heater with obstacles, a solar heater without obstacles in the air channel was also analyzed and compared with the modified system. According to the results, the integration of obstacles into the absorbing surface increased the air residence time within the flow channel and upgraded the thermal performance of the solar air heater. The proposed solar air heater exhibited superior thermal performance compared with the conventional configuration in terms of outlet temperature and useful energy gain.

Keywords: Solar air heater; PCM unit; Obstacles; Numerical simulation

1. INTRODUCTION

The increasing demand for sustainable energy technologies has accelerated the development of thermal energy storage (TES) systems integrated with renewable energy applications [1]. Among renewable resources, solar energy is one of the most promising alternatives; however, its intermittent nature restricts continuous energy utilization. Integrating TES systems into solar thermal applications offers an effective solution by storing surplus thermal energy during time of high solar irradiance and releasing it when solar radiation decreases or becomes unavailable [2]. Depending on the storage mechanism, TES technologies are generally classified into sensible, latent, thermochemical, and hybrid storage systems [3].

Latent heat storage based on PCMs has attracted considerable attention due of its high energy storage density and nearly constant temperature during the charging and discharging processes [4]. In comparison to sensible thermal storage, PCM-based systems can store larger amounts of thermal energy within a smaller space, making them particularly attractive for compact thermal systems. In addition, PCMs are capable of repeatedly absorbing and releasing latent thermal energy during melting and solidification without significant degradation in thermal performance [5-6]. Owing to these advantages, PCM-based TES technologies have been extensively employed in building energy management, heat recovery, hot water systems, and air-conditioning systems [7].

Numerous researches have demonstrated the effectiveness of PCM-based thermal storage in various engineering applications. Ručevskis et al. [8] optimized an active PCM storage section for space cooling applications and reported a reduction of up to 9.5 °C in indoor temperature. Wang et al. [9] performed a techno-economic assessment of a solar-assisted electric heating system and concluded that the selected PCM exhibited excellent thermal stability together with high heat storage capability. Nie et al. [10] reported that integrating PCM into air-conditioning systems significantly stabilized the outflow air temperature in the charging and discharging procedure, thereby improving thermal comfort. Liang et al. [11] examined the impact of geometric parameters on the efficiency of a PCM-based cold thermal storage section and reported higher energy usage efficiency with reduced energy consumption. Similarly, Wonorahardjo et al. [12] experimentally demonstrated that PCM-assisted passive cooling systems effectively improved indoor temperature regulation under tropical climatic conditions.

Recently, the integration of PCMs into solar air heaters (SAHs) has emerged as an effective approach to overcome the intermittent nature of solar energy and to prolong the useful operating period of the collectors. El Khadraoui et al. [13] empirically investigated a flat-plate SAH incorporating PCM and concluded that thermal energy storage significantly enhanced drying performance, particularly during periods of low solar radiation. Vengadesan et al. [14] introduced multifunctional PCM tubes into a SAH system and reported higher useful heat gain despite the accompanying increase in pressure drop. Luo et al. [15] designed a double-flow solar collector with PCM-filled evacuated tubes and demonstrated a remarkable improvement in thermal yield. Salih et al. [16] experimentally analyzed a PCM-assisted double-pass collector and showed that increasing the airflow rate delayed PCM melting while reducing the melting temperature. Alqaed [17] evaluated the behavior of a PCM-assisted SAH under the climatic conditions of Riyadh and reported increased outlet air temperatures during the late operating hours. Brahma et al. [18] compared different PCM materials and identified paraffin wax as the most suitable option in terms of thermal efficiency. Bo et al. [19] enhanced the performance of a PCM-assisted collector by integrating a fan, resulting in higher airflow and an average outlet temperature increase of approximately 4 °C. More recently, Balakrishnan et al. [20]

incorporated PCM into rectangular fins, while GaneshKumar et al. [21] combined PCM-filled tubes with nanoparticles and a V-corrugated absorber, achieving considerable improvements in both PCM melting characteristics and overall collector performance.

Although numerous researches have focused on increasing the thermal efficiency of PCM-integrated SAHs through absorber modifications, fin geometries, or PCM enhancement techniques, limited attention has been given to improving the airflow characteristics by employing guiding obstacles while simultaneously enhancing heat transfer inside the PCM storage unit. Therefore, the combined influence of guiding obstacles in the air channel and porous fins within the PCM container has not yet been comprehensively investigated.

Accordingly, the present study numerically investigates the thermal effectiveness of a single-pass SAH equipped with a PCM storage unit by incorporating guiding obstacles over the absorbing surface and perforated fins inside the PCM unit. A conventional PCM-assisted collector without obstacles is also analyzed under identical operating conditions for comparison. The effects of the proposed modification on airflow characteristics, temperature distribution, PCM melting behavior, outlet air temperature, and useful heat gain are comprehensively evaluated using transient CFD simulations.

2. CFD ANALYSIS

Computational fluid dynamics (CFD) has become an effective approach for analyzing airflow, heat transfer, and thermal energy storage in SAHs, enabling detailed investigation of the impact of solar irradiation and PCM integration on system performance. The geometric models of the two investigated SAHs were developed using the Design-Modeler module of ANSYS. Figure 1 shows geometry of the analyzed SAH equipped with a pcm unit. Figure 2 illustrates placement of the guiding obstacles in the flow channel and porous fins in the PCM unit. It should be stated that two identical SAHs were analyzed in the current work and the only difference between two SAHs is guiding obstacles in the flow channel of the collector. The main goal of adding PCM unit is improving usage time period of the SAH. Perforated fins were incorporated into the PCM section beneath the absorber surface to enhance heat exchange during the charging and discharging procedure. In addition, integrating guiding obstacles can importantly moderate fluid flow in the system and consequently raise the overall performance of the SAH. The geometry of the designed SAHs consists of an air domain, an aluminum absorbing surface, obstacles in the air channel, porous fins beneath the absorbing surface, a transparent glass cover, and a PCM-filled unit for heat energy storage.

Following the development of the computational models, the mesh structures were created using the ANSYS Meshing module. Since the mesh directly affects the accuracy, convergence, and computational efficiency of CFD simulations, an appropriate mesh configuration was established for all analyzed cases. The mesh structure of the SAH with obstacles is presented in Figure 3. Figure 3 (a) illustrates the mesh distribution within the air channel and PCM unit, while Figure 3 (b) shows the absorbing surface with the guiding obstacles in the flow channel and the porous fins integrated into the PCM unit. To accurately capture the heat transfer among the absorbing surface, guiding obstacles, and the flowing fluid, local grid refinement was applied at the corresponding interfaces. Moreover, local mesh refinement was preferred to the absorber plate, guiding obstacles, and porous fins to accurately resolve the heat transfer phenomena and ensure reliable numerical results. The computational domains of the PCM-equipped SAHs with and without obstacles consisted of 17,963,160 and 12,639,593 mesh elements, respectively.

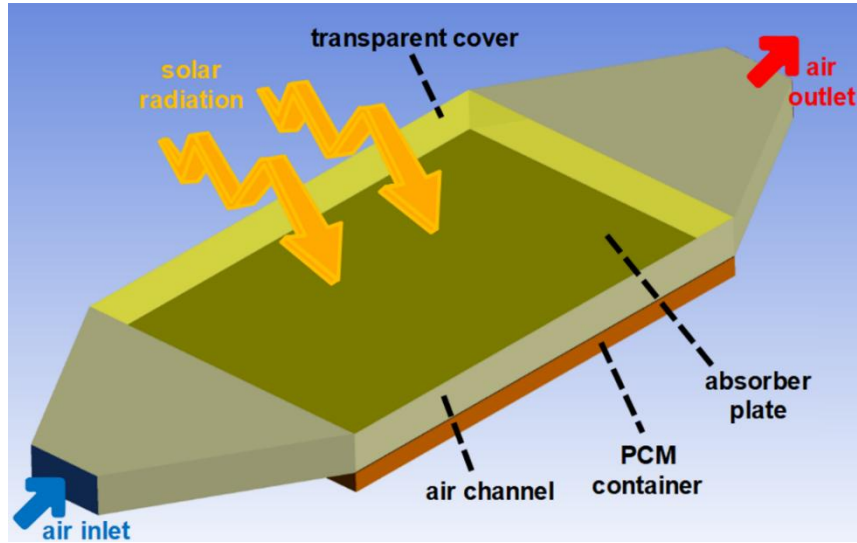


Figure 1. Geometry of the SAH equipped with a pcm unit

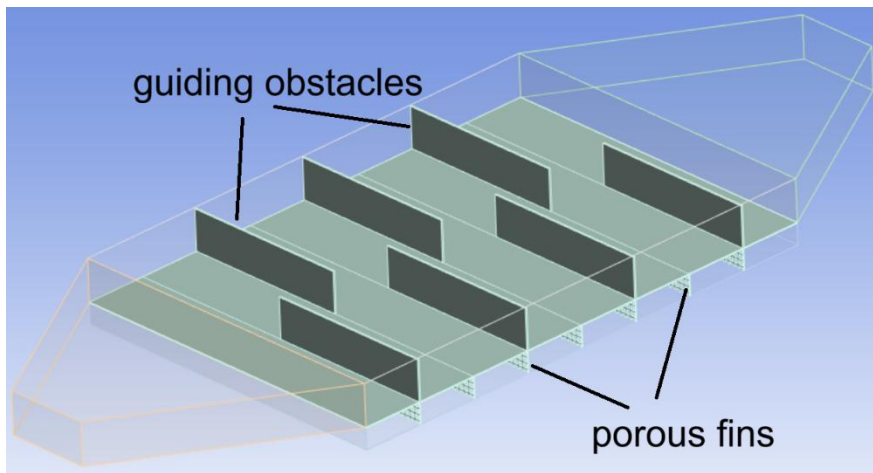


Figure 2. Placement of guiding obstacles in the flow channel and porous fins in the PCM unit

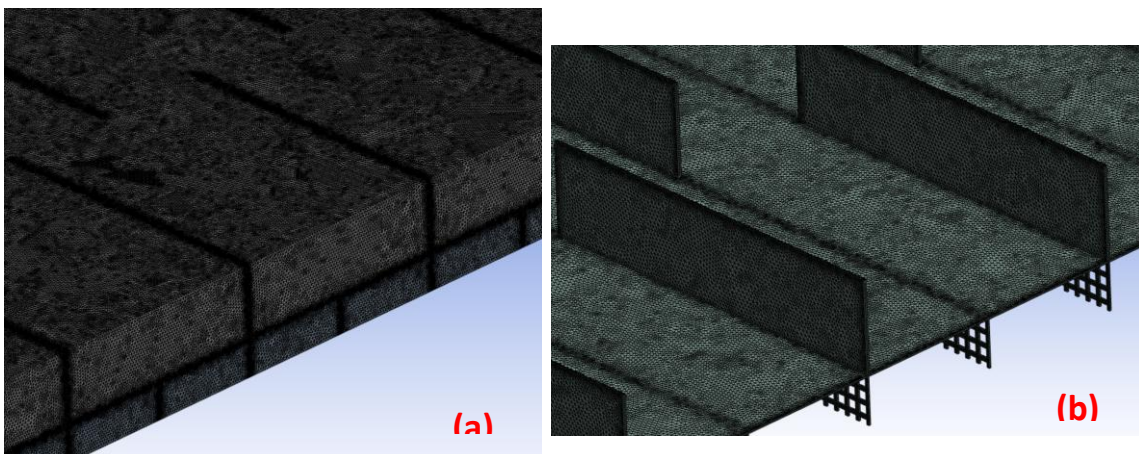


Figure 3. Mesh view of the SAH with obstacles in the flow channel; a) A view of air channel and PCM unit, b) Absorber plate with guiding obstacles in flow channel and porous fins inside PCM unit

The numerical model was established by defining the ambient heat loss through the collector surfaces, the inlet air conditions (temperature and flow rate), and the time-dependent solar irradiance as the principal boundary conditions. Transient numerical simulations were performed for two PCM-equipped SAHs, with and without obstacles, at a constant flow rate of 0.011 kg/s. A single flow rate was selected because transient thermal analyses require considerable computational time and resources. To simulate the effect of solar irradiation, a predefined sun vector was imposed on the transparent glass cover of the SAH. The transient solar irradiance was defined using experimentally measured data recorded at 30-minute intervals, as reported in the previous study [22]. The convective heat transfer coefficient at the collector walls was specified based on the methodology presented by Tuncer et al. [22]. The transparent glass cover located on the upper surface of the SAHs was modeled with a transmissivity of 0.92, while the absorbing surface was assigned an absorptivity of 0.95, representing the optical properties of commercially available collector materials. To provide heat energy storage, a section filled with paraffin wax was incorporated into the single-pass SAH, and its performance was evaluated for different design configurations.

Paraffin wax was selected as the PCM material because of its favorable thermophysical properties. As an organic PCM, it offers stable latent heat storage, negligible phase separation, and good thermal reliability, making it a suitable candidate for repeated thermal cycling [23-25]. In addition, its relatively low melting temperature makes paraffin particularly suitable for low-temperature TES purposes, including SAHs. The selected PCM was RUBITHERM RT42, which has a melting temperature range of 38-43 °C and a latent heat storage capacity of 165 kJ.kg⁻¹. The PCM has densities of 0.88 kg·L⁻¹ in the solid phase and 0.76 kg·L⁻¹ in the liquid phase, a specific heat capacity of 2 kJ.kg⁻¹.K⁻¹, and a conductivity of 0.2 W.m⁻¹.K⁻¹ in both phases.

Once the computational mesh had been established, the numerical investigations were done in ANSYS Fluent, where the governing equations, physical models, material properties, and boundary conditions were incorporated into the computational model. The CFD modeling was performed by preferring a transient pressure-based solver to accurately predict the flow and heat transfer behavior within the PCM-equipped SAHs.

The standard $k-\varepsilon$ model was preferred to resolve the turbulent airflow inside the solar air collector, following the approach adopted in previous investigations of comparable systems [26]. Air was considered as the working fluid, and its thermophysical properties were assumed to remain constant during the simulations. The incident solar radiation was applied by specifying the sun vector according to the orientation of the analyzed SAHs. Convergence criteria of 10⁻³ were specified for the continuity, momentum, k , and ε equations, while the energy equation was converged to 10⁻⁶. During the solution process, the pressure and velocity fields were iteratively determined by solving the coupled continuity and momentum equations.

The conservation of mass is governed by the following continuity balance [27]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

Together with the continuity equation, the momentum conservation balance was solved to determine the flow field and are expressed as follows [27]:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

here, $\rho \vec{g}$ represents the gravitational body force, $\vec{F}$ denotes any additional body forces, p is pressure, and $\bar{\tau}$ is the viscous stress tensor.

The turbulent kinetic energy (k) is governed by the following transport equation [27]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_i k)}{\partial x_i} = -\rho \bar{u}_i \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] \quad (3)$$

In the standard k - ε turbulence model, the transport formula for the turbulent dissipation rate (ε) is expressed by [27]:

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{u}_i \varepsilon)}{\partial x_i} = C_{1\varepsilon} P_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (4)$$

The turbulence length scale (L_t) was calculated using the following expression:

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{L_t} \quad (5)$$

The turbulent viscosity (μ_t) is expressed by the following relationship:

$$\mu_t = \rho C_\mu L_t \sqrt{k} = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

The energy conservation equation employed to determine the temperature distribution within the fluid domain is given below [22]:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \vec{\nabla} \cdot k \vec{\nabla} T + \varphi \quad (7)$$

where φ is the volumetric energy source (or sink) term and c_p is the specific heat capacity of the material.

To accurately reproduce the transient operating conditions, time-dependent boundary conditions were implemented in the numerical model. The incident solar irradiance and inlet air temperature were specified as functions of time using experimentally measured data, enabling the simulations to capture the daily variations in environmental conditions. The time-dependent profiles of solar radiation and surrounding temperature used as transient boundary conditions in the numerical model are presented in Figure 4, based on the experimental measurements reported by Tuncer et al. [22]. To accurately predict radiative heat exchange among the collector faces, the Surface-to-Surface (S2S) radiation model was adopted in the numerical modeling.

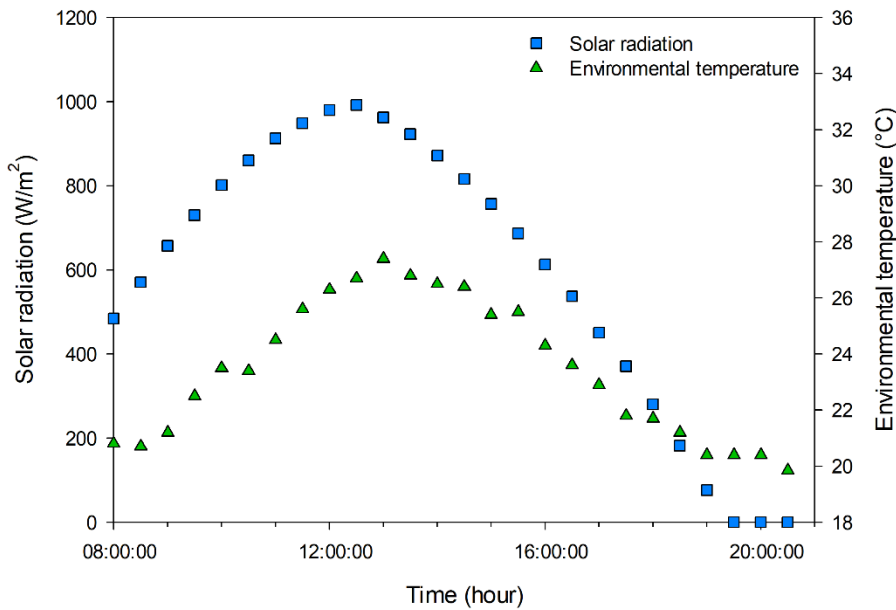


Figure 4. Temporal variations of radiation and ambient temperature

3. FINDINGS AND DISCUSSION

Figure 5 presents the liquid phase distribution within the PCM unit for the SAHs with and without guiding obstacles at the same operating time. The obstacle-assisted collector exhibits a higher liquid fraction, indicating a faster melting process. This improvement is attributed to the upgraded convective heat transfer resulting from the disturbance of the airflow and the increased air residence time within the SAH. Consequently, more heat energy is transferred from the absorbing plate to the PCM, leading to accelerated melting and more effective utilization of the thermal storage section. Figure 6 compares the air temperature distribution inside the SAHs with and without guiding obstacles. In the conventional collector, the temperature field exhibits a relatively smooth distribution along the air channel, whereas the introduction of guiding obstacles significantly alters the thermal field. The obstacles redirect the airflow and promote stronger mixing, leading to repeated disruption of the thermal boundary layer over the absorber surface. Consequently, the air absorbs more thermal energy while flowing through the collector, resulting in enhanced convective heat transfer and improved thermal performance. The local temperature variations observed around the obstacles further indicate intensified heat exchange among the absorbing face and the flowing air.

Figure 7 compares the temperature distribution over the absorbing surface for both collector configurations. The absorber plate with guiding obstacles exhibits more pronounced local temperature variations than the conventional design. This behavior is attributed to the repeated interaction between the airflow and the obstacles, which enhances local convection by disrupting the thermal boundary layer. As a result, heat is extracted more effectively from the absorbing surface and transferred to the flowing fluid, leading to improved thermal performance. Furthermore, the non-uniform temperature contour confirms the intensified heat exchange occurring around the obstacle locations.

Figure 8 compares the outflow air temperature of the SAHs with and without guiding obstacles throughout the day. The obstacle-assisted collector consistently delivers a higher outflow air temperature than the conventional configuration. The temperature difference becomes more pronounced during periods of high solar irradiance, indicating that the enhanced heat transfer provided by the guiding obstacles is more effective under increased thermal loading. This improvement can be attributed to the intensified air mixing and the prolonged residence time within the flow channel, which increase the amount of heat transferred from the absorbing surface to the flowing air. As the solar irradiance decreases during the late afternoon, the temperature difference between the two configurations gradually diminishes. Figure 9 presents the change in the useful heat gain for the SAHs with and without guiding obstacles. The obstacle-assisted collector achieves higher useful heat gain throughout most of the operating period, with the greatest improvement observed around midday when the solar irradiance reaches its maximum. The enhanced performance results from the increased convective heat transfer among the absorbing surface and the airflow due to the disturbance of the thermal boundary layer and the prolonged air residence duration within the SAH. As the available solar energy decreases during the late afternoon, the useful heat gain of both configurations gradually declines, reducing the difference between the two systems.

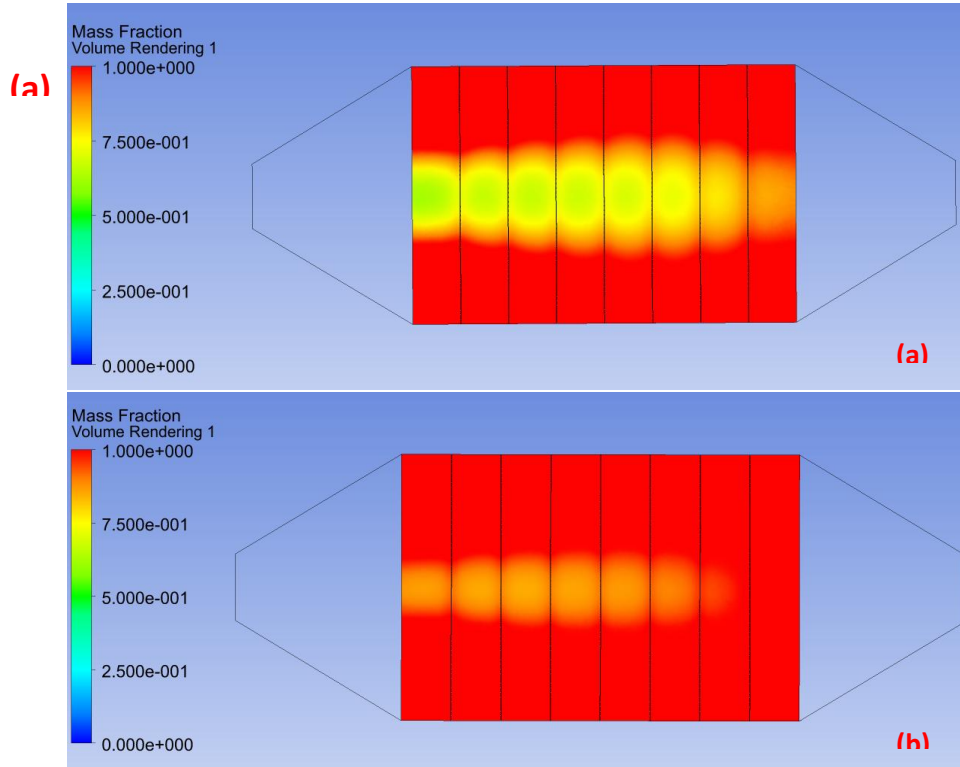


Figure 5. Liquid phase distribution in the thermal storage unit; a) Without guiding obstacles, b) With guiding obstacles

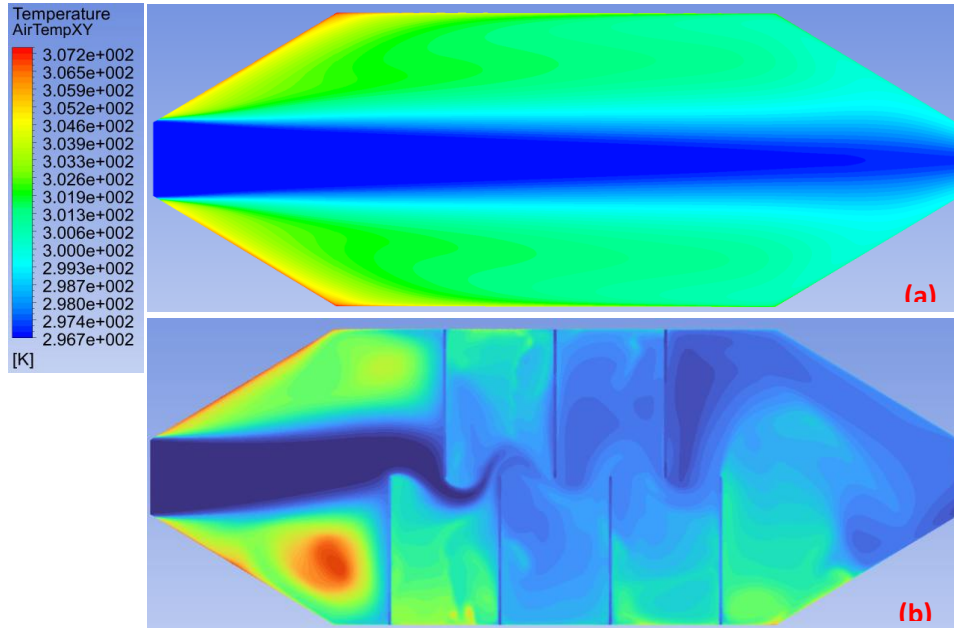


Figure 6. Temperature contour in the air channel of the SAH; a) Without guiding obstacles, b) With guiding obstacles

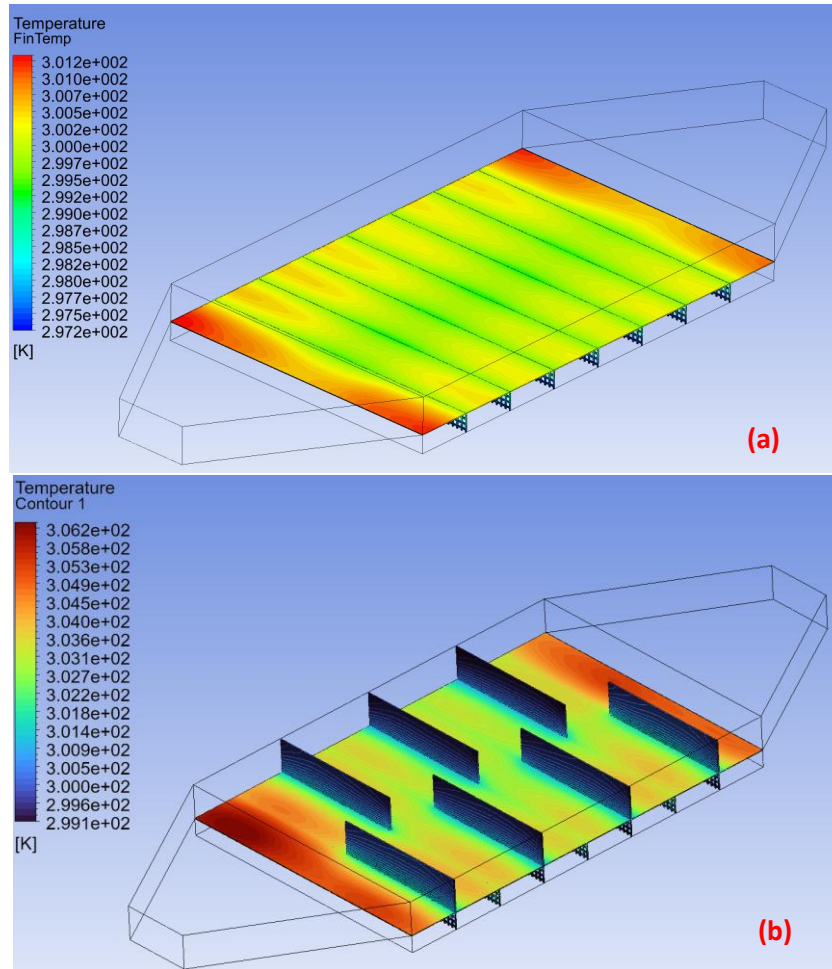


Figure 7. Temperature contour on the absorber of the SAH; a) Without guiding obstacles, b) With guiding obstacles

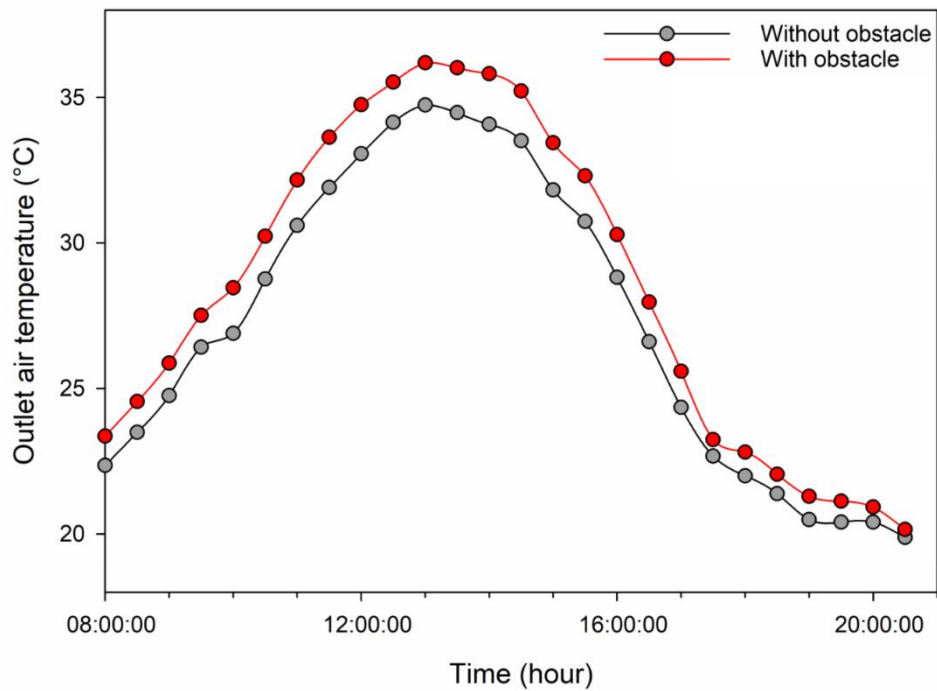


Figure 8. Outflow temperature in the SAHs with and without obstacles

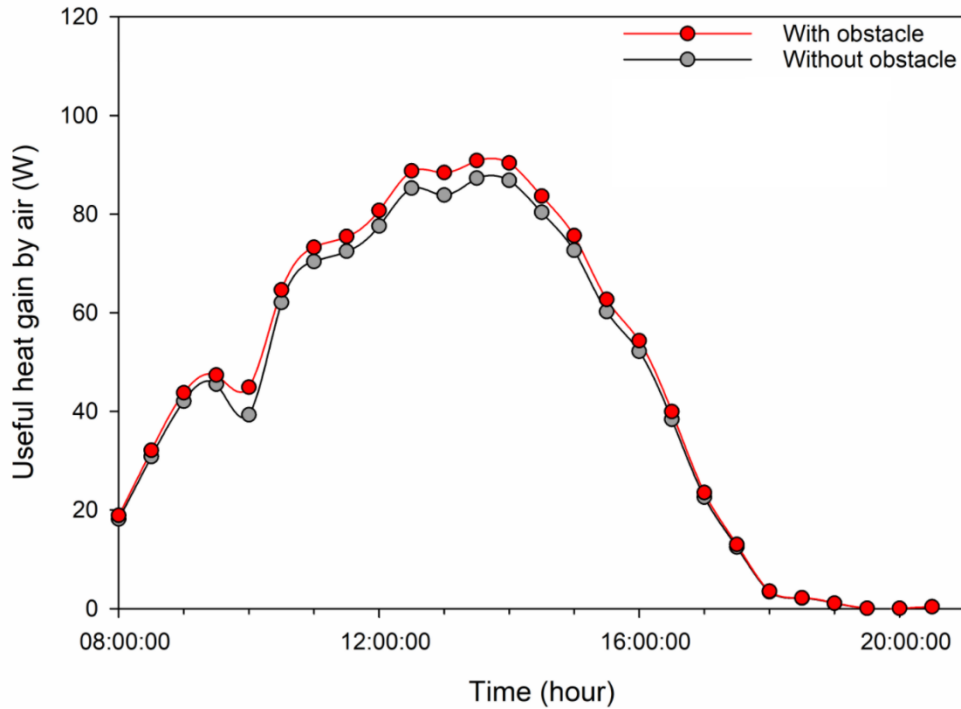


Figure 9. Thermal energy gained in the SAHs with and without obstacles

4. CONCLUSIONS

In the current work, the thermal performance of a single-flow SAH integrated with a PCM storage unit was numerically investigated. To increase the heat transfer characteristics of the collector, guiding obstacles were installed over the absorber plate, while porous fins were incorporated into the PCM container to enhance thermal energy storage. The performance of the designed configuration was compared with that of a traditional PCM-assisted solar air heater under identical transient working conditions. The numerical results demonstrated that the addition of guiding obstacles significantly modified the airflow characteristics inside the collector by raising the air residence time and promoting stronger convective heat transfer among the absorber plate and the working fluid. Consequently, a larger amount of thermal energy was transferred to both the airflow and the PCM storage unit. The liquid fraction distributions revealed that the proposed configuration accelerated the melting procedure of the PCM compared with the conventional collector, indicating more effective utilization of the latent heat storage unit. Furthermore, the temperature contours showed that the airflow disturbances generated by the guiding obstacles enhanced heat exchange throughout the collector, resulting in improved thermal energy distribution. The proposed collector consistently achieved higher outlet air temperatures and greater useful heat gain throughout the operating period. The improvement became more pronounced during periods of high solar irradiance, confirming that the modified airflow path enhanced the thermal utilization of the available solar energy. Overall, the combination of guiding obstacles and porous fins offers a practical and effective approach for improving the thermal performance of PCM-assisted solar air heaters. Future studies may focus on optimizing the geometry, dimensions, spacing, and arrangement of the guiding obstacles and porous fins, as well as experimentally validating the proposed design under different climatic and operating conditions.

REFERENCES

- [1] Agrawal, A., Kumar, A. Harvesting freshwater from atmospheric air using thermal energy storage enabled solar air heater, *Journal of Energy Storage*, 73, 109008, 2023.
- [2] Khan, Z., Khan, Z., Ghafoor, A. A review of performance enhancement of PCM based latent heat storage system within the context of materials, thermal stability and compatibility, *Energy conversion and management*, 115, 132-158, 2016.
- [3] Brahma, B., Narzary, R., Baruah, D. C. Acetamide for latent heat storage: Thermal stability and metal corrosivity with varying thermal cycles, *Renewable energy*, 145, 1932-1940, 2020.
- [4] Piselli, C., Prabhakar, M., de Gracia, A., Saffari, M., Pisello, A. L., Cabeza, L. F. Optimal control of natural ventilation as passive cooling strategy for improving the energy performance of building envelope with PCM integration, *Renewable Energy*, 162, 171-181, 2020.
- [5] Prabhakar, M., Saffari, M., de Gracia, A., Cabeza, L. F. Improving the energy efficiency of passive PCM system using controlled natural ventilation, *Energy and buildings*, 228, 110483, 2020.
- [6] Ameri, M., Sardari, R., Farzan, H. Thermal performance of a V-Corrugated serpentine solar air heater with integrated PCM: A comparative experimental study, *Renewable Energy*, 171, 391-400, 2021.
- [7] Mahdi, J. M., Najim, F. T., Aljubury, I. M., Mohammed, H. I., Khedher, N. B., Alshammari, N. K., Cairns A., Talebizadehsardari, P. Intensifying the thermal response of PCM via fin-assisted foam strips in the shell-and-tube heat storage system, *Journal of Energy Storage*, 45, 103733, 2022.
- [8] Ručevskis, S., Akishin, P., Korjamins, A. Parametric analysis and design optimisation of PCM thermal energy storage system for space cooling of buildings, *Energy and Buildings*, 224, 110288, 2020.
- [9] Wang, L., Guo, L., Ren, J., Kong, X. Using of heat thermal storage of PCM and solar energy for distributed clean building heating: A multi-level scale-up research, *Applied Energy*, 321, 119345, 2022.

- [10]** Nie, B., Du, Z., Zou, B., Li, Y., Ding, Y. Performance enhancement of a phase-change-material based thermal energy storage device for air-conditioning applications, *Energy and Buildings*, 214, 109895, 2020.
- [11]** Liang, Y., Yang, H., Wang, H., Bao, X., Cui, H. Enhancing energy efficiency of air conditioning system through optimization of PCM-based cold energy storage tank: A data center case study, *Energy*, 286, 129641, 2024.
- [12]** Wonorahardjo, S., Sutjahja, I. M., Tunçbilek, E., Achsani, R. A., Arıcı, M., Rahmah, N. PCM-based passive air conditioner in urban houses for the tropical climates: An experimental analysis on the stratum air circulation, *Building and Environment*, 192, 107632, 2021.
- [13]** El Khadraoui, A., Bouadila, S., Kooli, S., Guizani, A., Farhat, A. Solar air heater with phase change material: An energy analysis and a comparative study, *Applied Thermal Engineering*, 107, 1057-1064, 2016.
- [14]** Vengadesan, E., Dhinakaran, V., Senthil, S., Renugadevi, P., Senthil, R. Performance augmentation of solar air heater using absorber with multi-functional encapsulated PCM tubes, *Journal of Energy Storage*, 72, 108296, 2023.
- [15]** Luo, Q., Li, B., Wang, Z., Su, S., Xiao, H., Zhu, C. Thermal modeling of air-type double-pass solar collector with PCM-rod embedded in vacuum tube, *Energy Conversion and Management*, 235, 113952, 2021.
- [16]** Salih, S. M., Jalil, J. M., Najim, S. E. Experimental and numerical analysis of double-pass solar air heater utilizing multiple capsules PCM, *Renewable Energy*, 143, 1053-1066, 2019.
- [17]** Alqaed, S. Effect of using a solar hot air collector installed on the inclined roof of a building for cooling and heating system in the presence of polymeric PCM, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 50, 101852, 2020.
- [18]** Brahma, B., Shukla, A. K., Baruah, D. C. Design and performance analysis of solar air heater with phase change materials, *Journal of Energy Storage*, 61, 106809, 2023.
- [19]** Bo, R., Fu, W., Meng, X., Zhang, G. Employing a fan to improve the wintery heating performance of solar air collectors with phase-change material: an experimental comparison, *Case Studies in Thermal Engineering*, 50, 103425, 2023.
- [20]** Balakrishnan, P., Vishnu, S. K., Muthukumaran, J., Senthil, R. Experimental thermal performance of a solar air heater with rectangular fins and phase change material, *Journal of Energy Storage*, 84, 110781, 2024.

- [21] GaneshKumar, P., Vigneswaran, V. S., Murugan, P., Cheralathan, M., Velraj, R., Kim, S. C., Ramkumar, V. Exploring the thermal performance of a solar air heater with a V-corrugated and shot-blasted absorber plate comprising nano-enhanced phase change materials, *Journal of Energy Storage*, 77, 109955, 2024.
- [22] Tuncer, A. D., Amini, A., Khanlari, A. Experimental and transient CFD analysis of parallel-flow solar air collectors with paraffin-filled recyclable aluminum cans as latent heat energy storage unit, *Journal of Energy Storage*, 70, 108009, 2023.
- [23] Khadiran, T., Hussein, M. Z., Zainal, Z., Rusli, R. Advanced energy storage materials for building applications and their thermal performance characterization: A review, *Renewable and Sustainable energy reviews*, 57, 916-928, 2016.
- [24] Wei, G., Wang, G., Xu, C., Ju, X., Xing, L., Du, X., Yang, Y. Selection principles and thermophysical properties of high temperature phase change materials for thermal energy storage: a review, *Renew Sustain Energy Rev* 81,1771–1786, 2018.
- [25] Yang, L., Huang, J., Zhou, F. Thermophysical properties and applications of nano-enhanced PCMs: An update review, *Energy Conversion and Management*, 214, 112876, 2020.
- [26] Afshari, F., Muratçobanoğlu, B., Mandev, E., Ceviz, M. A., Mirzaee, Z. (2023). Effects of double glazing, black wall, black carpeted floor and insulation on thermal performance of solar-glazed balconies. *Energy and Buildings*, 285, 112919.
- [27] Ansys, ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS Inc, Canonsburg, 2017.

FARKLI KÂĞIT TÜRLERİNİN TOPRAK ALTINDA BOZUNMA SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ

Reyhan TAVUKCU

Bursa Teknik Üniversitesi

tavukcureyhan7@gmail.com - ORCID 0009-0002-7235-6674

Dr. Öğr. Üyesi Hülya VARLIBAŞ BAŞBOĞA

Bursa Teknik Üniversitesi

hulya.varlibas@btu.edu.tr | ORCID: 0000-0002-1413-2560

ÖZET

Bu çalışmada yedi çeşit atık kağıdın farklı sürelerde toprak altında kalarak gösterdiği fiziksel ve mekanik değişimlerin görselleştirilmesi amaçlanmıştır. İşlevini tamamlamış atık kağıtların geri dönüşüm süreçlerine uğramadan doğada ne kadar sürede çözünebileceğini ve toprak altında çözünme aşamalarını periyodik olarak görselleştirmiştir. Çalışma iki ana bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde gazete kağıtları, baskılı yazı kağıtları (baskılı ve baskısız), kuşe kağıtları ve ambalaj kağıtları (Kraft kâğıt), tuvalet kağıtları, karton ve mukavva kağıtlarından oluşan bir grup farklı kullanım alanına sahip kağıtlar, A6 boyutlarında kesilerek kampüs içerisinde bitki deneme çalışmaları için ayrılan alanda bulunan kahverengi orman toprağında yaklaşık 10 cm derinliğinde açılan çukurlara gömülmüştür. Çalışmanın ikinci bölümünde gazete kağıdı, kuşe dergi kağıdı, ambalaj kağıdı, baskılı ofis kağıdı, tuvalet kağıdı, mukavva ve kartonda oluşan yedi farklı türdeki kağıtlar aynı boyda ve özelliklere sahip yaklaşık yedi litre ölçülerinde şeffaf saksılara bir kat kağıt bir kat toprak (kağıdı kapatacak kadar) şekilde yedi adet kağıt örneği ile kapatılmıştır. Saksıda bulunan örnekler yaklaşık bir haftalık periyotlarda özenli olarak topraktan çıkarılıp temizlenmiş ve analizler yapılmıştır. Kağıtların ağırlık değişimleri, kalınlık değişimleri ve patlama dirençleri kağıt örneklerinin verdiği imkanlar dahilinde değerlendirilmiştir. Çalışma literatüre kahverengi orman toprağı altında kalan kağıtların değişimlerinin zaman içerisinde fiziksel ve mekanik değişimlerini eklemeyi planlamıştır. Atık kağıtlar toprak altında kaldığı takdirde bile kısa sürede çözünerek kalıcı toprak kirliliğine neden olmamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık Kağıt, Toprakta Çözünme, Süre, Kağıt Direnci

Investigation of the Degradation Processes of Different Paper Types under Soil Burial

ABSTRACT

This study aimed to visualize the physical and mechanical changes exhibited by seven different types of waste paper after being buried in soil for varying periods. It periodically documented the decomposition stages of end-of-life paper materials under natural soil conditions in order to determine how long these waste papers require to degrade without undergoing recycling processes. The study consisted of two main sections. In the first section, newspapers, printed and unprinted office papers, coated papers, packaging papers (kraft paper), toilet paper,

cardboard, and corrugated board, representing papers with different applications, were cut into A6-sized samples and buried at a depth of approximately 10 cm in brown forest soil located within the campus area designated for plant experimental studies. In the second section, seven different paper types, namely newspaper, coated magazine paper, packaging paper, printed office paper, toilet paper, corrugated board, and cardboard, were placed in transparent pots with a capacity of approximately seven liters and identical dimensions. The samples were arranged in alternating layers consisting of one layer of paper and one layer of soil, with sufficient soil to completely cover each paper sample. Each pot contained seven paper samples prepared using this layering method. The buried samples were carefully removed from the soil at approximately one-week intervals, cleaned, and subjected to analysis. Within the limitations imposed by the condition of the recovered paper samples, changes in weight, thickness, and bursting strength were evaluated. The study aimed to contribute to the existing literature by providing data on the temporal physical and mechanical changes of paper materials buried in Brown forest soil conditions. The findings indicate that, even when buried in soil, waste paper decomposes within a relatively short period and therefore does not cause persistent soil pollution..

Keywords: Waste Paper; Soil Burial; Degradation Time; Paper Strength

GİRİŞ

Toprak, atmosfer ile taş küreyi, tatlı su ile tuzlu su alanlarını birbirinden ayıran bir ara katmandır. Birçok bitki ve hayvan için yaşam alanı sunan biyosferin bir parçası olmakla birlikte; gezegenimizin yaşayan, nefes alan derisidir. (1).

Araştırma konusunun öneminin büyük çoğunluğu ise toprağın kirlenmesiyle ilişkilidir. Toprak kirliliği, katı, sıvı ve radyoaktif artık ve kirleticiler tarafından toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin bozulmasıdır. Toprakta meydana gelen değişimler insan ve diğer canlıların yaşamını doğrudan etkiler. Çevreye rastgele atılan evsel atıklar da toprağı kirleten unsurlar arasındadır (2). Araştırmanın konusu; hava ve dış etkenlere de bağlı olarak kâğıt çeşitlerinin toprak altında yok olma sürecini gözlemleyip, toprak numunesini inceleyerek kâğıdın toprak kirliliğindeki rolünü değerlendirmektir. Bu araştırma diğerlerinden farklı olarak çoklu incelemeyle yapılmıştır. Birden fazla örnek gözlemlenip hepsinden ayrı ayrı numune alınarak aşamaların sonuçları sıklıkla kaydedilmiş, araştırma sonunda bu verilere bağlı olarak değerlendirme yapılmıştır.

Yapılan literatür araştırmasında kaynağın güvenilirliği tam sağlanmamakla birlikte kâğıdın toprakta yok olma süresinin 2 ile 2,5 ay arasında olduğundan bahsedilmektedir (4). Literatürde bu konuda yeterli bilgiye ulaşılamaması, araştırmayı yapmaya sevk etmiştir. Çalışma sonucunda farklı kâğıt türlerinin toprak altında çözünme süreleri aylık olarak değerlendirilmeye başlanmış sonuç alınamadığı (kağıtlar bulunamadığı) için kağıt örnekleri B plan kapsamında aynı boy ve özelliklere sahip farklı 7 saksıda farklı 7 örnekle devam edilmiştir. Çalışmaya saksıda devam edildiği için saksı içerisinden kağıtlar alındıktan sonra topraktaki toplam azot ve topraktaki fosfor değerleri analiz edilmiştir.

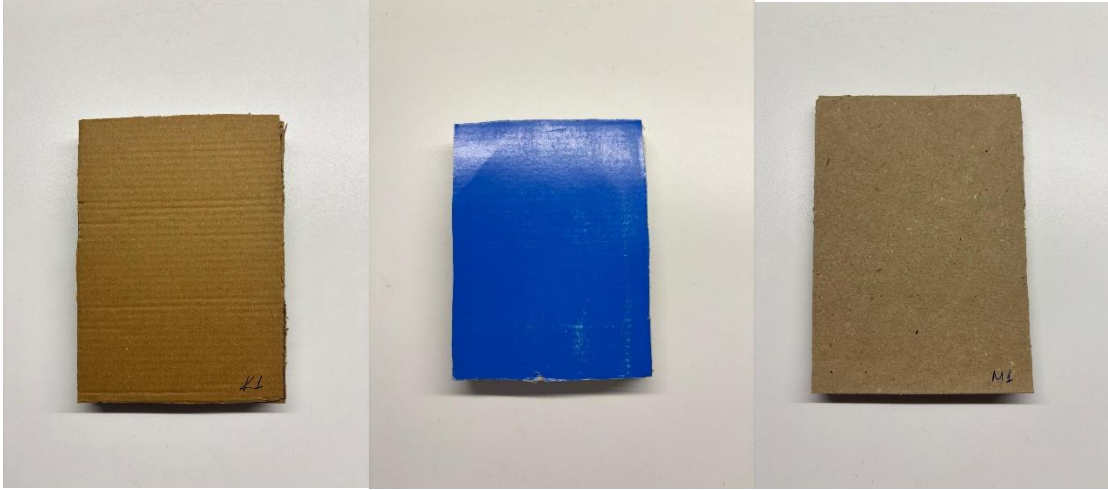
Çalışmada gazete kağıtları, yazı kağıtları (baskılı ve baskısız), kuşe kağıtları ve ambalaj kağıtları (fluting ve Kraft kâğıt) A6 boyutlarında kesilerek Bursa Teknik Üniversitesi Mimarsinan Yerleşkesi içerisinde bulunan Ormancılık Araştırma Merkezi içerisinde bulunan kırmızı renkli Akdeniz topraklarına (Terra- Rossa) sahip alanda yaklaşık 10 cm derine gömülmüştür. Toprağa gömülmeyen kontrol örneklerinin fiziksel testleri yapılacak ve her ay toprağın altından çıkartılan kağıtların test sonuçları ile kıyaslanacak diye planlanan

çalışmamızda bir ay sonunda hiçbir kağıt örneğine ulaşılamayınca örnekler yaklaşık 7 lt lik saksılarda yaklaşık aynı ölçülerde ve şekilde (bir kağıt örneği üzerini örtecek kadar toprak bir kağıt örneği üzerini örtecek kadar toprak olacak şekilde) örnekler açık havada kalacak şekilde hazırlanmıştır. Kağıtlar hava koşullarının da el verdiği ölçüde yaklaşık bir haftalık aralıklarla saksılardan nazikçe çıkarılmış, hava kurusu-fırın kurusu ağırlıkları alınmış ve mukavemet değerleri için de Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstrisi Mühendisliği Bölümünde yer alan laboratuvarlarda patlama testleri TAPPI T 403 om-91 standardına uygun olarak test edilmiştir.

Materyal ve Metod

2.1. Materyal

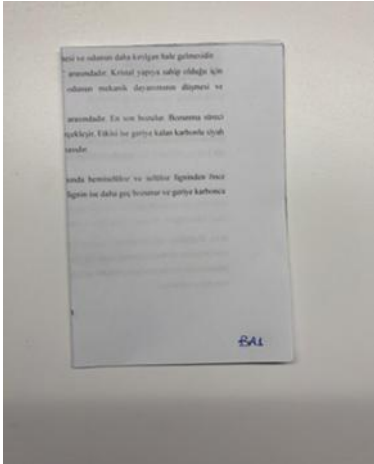
Kullanılacak olan kâğıt türleri çalışma öncesinde belirlendi. Laboratuvar ortamında kesilip A6 boyutuna getirildi. Her tür için 10 adet örnek kesildi. Kesilen örneklerin hassas terazi ile ağırlıkları alındı. Her türe özel kodlarla numaralandırma yapıldı. Şekil 1’den Şekil 11’e kadar kesilen kağıt örnekleri görülmektedir.



Şekil 1

Şekil 2

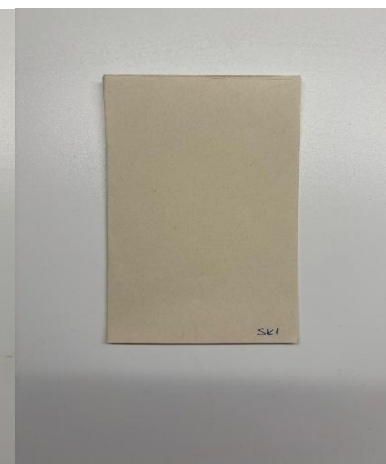
Şekil 3



Şekil 4



Şekil 5



Şekil 6



Şekil 7



Şekil 8



Şekil 9



Şekil 10



Şekil 11

Görsellerde sırasıyla karton, mukavva, baskılı A4 kağıdı, A4 kağıdı, sarı kağıt, gazete kağıdı, ambalaj kağıdı, tuvalet kağıdı, dergi kağıdı ve kağıtların tamamı gösterilmiştir. Şekil 2’de belirtilen görsel kartonun ters yüzeyidir. Şekillerde bulunan kağıtların kodları aşağıda açıklanmıştır.

A1’den A10’a kadar A4 kağıdı için belirlenen kod

BA1’den BA10’a kadar Baskılı A4 kağıdı için belirlenen kod

DK1’den DK10’a kadar Dergi kağıdı için belirlenen kod

TK1’den TK10’a kadar Tuvalet kağıdı için belirlenen kod

SK1’den SK10’a kadar Sarı kağıt için belirlenen kod

K1’den K10’a kadar Karton için belirlenen kod

GK1’den GK10’a kadar Gazete kağıdı için belirlenen kod

M1’den M10’a kadar Mukavva kağıdı için belirlenen kod

AK1’den AK10’a kadar Ambalaj kağıdı için belirlenen kod

Tuvalet kâğıdı için örnek alınırken kesikli çizgilerden faydalanıp 10 adet kopartıldı. Proje için yapılan çalışmalar aşağıda kronolojik olarak resmedilmiş ve açıklanmıştır.

2.2. Metod

Çalışmanın ilk basamağı olarak Bursa Teknik Üniversitesi Mimarsinan Yerleşkesi içerisinde bulunan Ormancılık Araştırma Merkezi'nde proje için ayrılan bölüm yabancı otlardan arındırılarak temizlendi. Çalışmaya 9 farklı kağıt türü olarak başlanmıştır.

Hazırlanan örnekler laboratuvarından alınıp gömünün yapılacağı alana götürüldü. 9 tür için konumlar belirlendi. Her türden 5 adet örnek(her ay bir tane alınacak şekilde) tek sıra halinde art arda gömüldü. Derinlikleri yaklaşık 10 cm olarak ayarlandı. Kağıtların gömüldüğü yerler işaret çubukları ile işaretlenmiştir. Toplamda 45 adet çukur kazıldı. Çukurların ve içerilerine konulan kağıtların görselleri Şekil 12'de görülmektedir.



Şekil 12. Farklı Gruptaki Kağıtların Toprağa Gömüşleri

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Daha önce işaret çubukları ile belirlenen topraktaki ilk çukurlar açıldı fakat hiçbir örneğe rastlanmadı. İşaretleli olan tüm alanlar da açıldı ancak herhangi bir kağıt kalıntısına ulaşılamadı. Literatürde belirtilen yaklaşık 2-2,5 ay süresine çalışmamızda ulaşamadı, yaklaşık bir ay içerisinde kış şartlarının da etkisiyle toprakta çözündükleri ile karşılaşıldı. Şekil 13' de bir grup kağıt için açılan tüm kağıt çukurlarının da boş olduğu görülmektedir.



Şekil 13. Kağıtların Toprak Altında Çözünmeleri

Toprağa gömülen örneklerin bulunamamasının ardından saksı temini yapıldı. Saksıya gömülecek örnekler hazırlandı. A6 boyutunda her grup için 10 adet örnek kesildi.

Şekil 14’de bulunan aynı özellikteki 7 adet saksıya(örnek sayılarında azaltmaya giderek) sadece farklı türdeki kağıtlar, saksılara toprak konularak aşağıdaki gibi olacak şekilde örnekler bir toprak bir kağıt örneği olacak durumda sırayla kapatılarak son haline gelmiştir.





Şekil 14. Kağıt Örneklerinin Saksılara Gömülme İş Akışı

Kâğıt örnekleri 7 katlı ve üst üste olacak biçimde sırayla gömüldü. Her saksıda kendi türüne ait 7 adet örnek bulunmaktaydı. Yüzeyden ilk örnekler çıkartılmaya başlandı ve zaman geçtikçe derine doğru inilerek örnekler incelenmiştir. Yapılan her iş paketine için numaralandırmalar yapılmıştır.

Çalışmanın Beşinci Adımı (23.03.2026)

İlk katın topraktan çıkartılma işlemi yapıldı. Topraktan çıkan tüm örneklerin yaş haldeki ağırlıkları tartıldı, 103 °C’de 4 saat kaldıktan sonra kuru haldeki ağırlıkları da tartılarak not edilmiştir. Sonuçlar tam kuru ağırlıklara göre değerlendirilmiştir. İlk grubun yaş ağırlık değerleri aşağıdaki gibidir. İlk grup kağıtların toprakta çıkarılma ve topraktan çıktıktan sonraki durumları Şekil 28’den Şekil 35’ e kadar gösterilmektedir.



Şekil 15

Çalışmanın Altıncı Adımı(31.03.2026)

İkinci grup kâğıt örneklerinin saksı içerisinde alımı yapıldı. Toprakta çıkan tüm örneklerin yaş haldeki ağırlıkları tartıldı, 103 °C’de 4 saat kaldıktan sonra kuru haldeki ağırlıkları da tartılarak not edilmiştir. Sonuçlar tam kuru ağırlıklara göre değerlendirilmiştir. İkinci grup kâğıtların toprakta çıkarılma ve topraktan çıktıktan sonraki durumları Şekil 36’dan Şekil 43’ e kadar gösterilmektedir.



Şekil 36

Şekil 37



Şekil 38



Şekil 39

Şekil 40

Şekil 41



Şekil 42

Şekil 43



Şekil 44

Çalışmanın Yedinci Adımı (07.04.2026)

Üçüncü grup kâğıt örneklerinin saksı içerisinde alımı yapıldı. Toprakta çıkan tüm örneklerin yaş haldeki ağırlıkları tartıldı, 103 °C’de 4 saat kaldıktan sonra kuru haldeki ağırlıkları da tartılarak not edilmiştir. Sonuçlar tam kuru ağırlıklara göre değerlendirilmiştir. Üçüncü grup kâğıtların toprakta çıkarılma ve topraktan çıktıktan sonraki durumları Şekil 45’den Şekil 53’ e kadar gösterilmektedir.



Şekil 45

Şekil 46

Şekil 47



Şekil 48

Şekil 49

Şekil 50



Şekil 51



Şekil 52



Şekil 53

Çalışmanın Sekizinci Adımı (13.04.2026)

Dördüncü grup kâğıt örneklerinin saksı içerisinden alımı yapıldı. Toprakta çıkan tüm örneklerin yaş haldeki ağırlıkları tartıldı, 103 °C'de 4 saat kaldıktan sonra kuru haldeki ağırlıkları da tartılarak not edilmiştir. Sonuçlar tam kuru ağırlıklara göre değerlendirilmiştir.

Dördüncü grup kağıtların toprakta çıkarılma ve topraktan çıktıktan sonraki durumları Şekil 54’den Şekil 62’ ye kadar gösterilmektedir.



Şekil 54



Şekil 55



Şekil 56



Şekil 57



Şekil 58



Şekil 59



Şekil 60



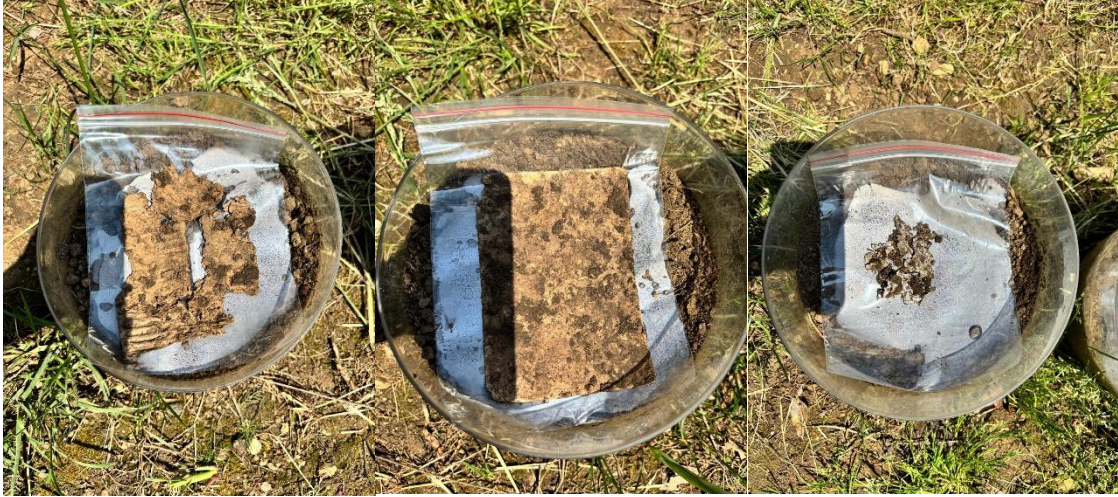
Şekil 61



Şekil 62

Çalışmanın dokuzuncu Adımı (27.04.2026)

Beşinci grup kâğıt örneklerinin saksı içerisinde alımı yapıldı. Toprakta çıkan tüm örneklerin yaş haldeki ağırlıkları tartıldı, 103 °C’de 4 saat kaldıktan sonra kuru haldeki ağırlıkları da tartılarak not edilmiştir. Sonuçlar tam kuru ağırlıklara göre değerlendirilmiştir. Beşinci grup kâğıtların toprakta çıkarılma ve topraktan çıktıktan sonraki durumları Şekil 63’den Şekil 68’ e kadar gösterilmektedir. Ambalaj kâğıdı örneğine rastlanmadı.



Şekil 63

Şekil 64



Şekil 65

Şekil 66



Şekil 67

Şekil 68

Çalışmanın onuncu adımı (04.05.2026)

Altıncı grup kâğıt örneklerinin saksı içerisinde alımı yapıldı. Toprakta çıkan tüm örneklerin yaş haldeki ağırlıkları tartıldı, 103 °C’de 4 saat kaldıktan sonra kuru haldeki ağırlıkları da tartılarak not edilmiştir. Sonuçlar tam kuru ağırlıklara göre değerlendirilmiştir. Altıncı grup kâğıtların toprakta çıkarılma ve topraktan çıktıktan sonraki durumları Şekil 69’dan Şekil 75’ e kadar gösterilmektedir. Yağmurlu havada alındığı için ağırlıklar normale göre daha fazla çıktı. Dergi kâğıdı örneğine rastlanmadı.



Şekil 69

Şekil 70

Şekil 71



Şekil 72

Şekil 73



Şekil 74



Şekil 75

Çalışmanın onbirinci adımı (11.05.2026)

Yedinci grup kâğıt örneklerinin saksı içerisinden alımı yapıldı. Toprakta yalnızca mukavva ve karton örneği bulundu. Yaş haldeki ağırlıkları tartıldı, 103 °C’de 4 saat kaldıktan sonra kuru haldeki ağırlıkları da tartılarak not edilmiştir. Sonuçlar tam kuru ağırlıklara göre değerlendirilmiştir. Yedinci grup kağıtların toprakta çıkarılma ve topraktan çıktıktan sonraki durumları Şekil 76’dan Şekil 79’ a kadar gösterilmektedir.



Şekil 76



Şekil 77



Şekil 79

Saksılardaki tüm örneklerin çıkartılmasının ardından Bursa Teknik Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarına analiz yapmak üzere toprak numunesi hazırlandı.

Her saksıdan birer ikişer avuç toprak alınarak numune poşetinde birleştirildi. Poşet içerisinde topraklar karıştırıldı. Hava kurusu ortamda olması istendiği için, toprak karışımı alüminyum kaba boşaltıldı.



Şekil 80

Yapılan çalışmalar yukarıdaki gibi özetlenmiştir. Grafikler ve yorumlara sonuç bölümünde yer verilecektir.

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yaklaşık yedi hafta boyunca saksıda kalan kağıtların ağırlık, kalınlık ve patlama sonuçları mümkün olduğunca ölçülmeye çalışılmıştır. Kağıt örnek boylarının saksıya uygun şekilde kesilmesinden dolayı kopma sonuçları için gerekli örnek boyu sağlanamadığından yapılamamıştır. Çıkan sonuçlar tablo halinde aşağıdaki gibidir. Toprak örneğindeki toplam azot ve fosfor ölçümleri de aşağıda bulunmaktadır.

3.1. Ağırlık Değişimi

Farklı kağıt örneklerinin ağırlıkları saksılara da konulmadan önce tam kuru ağırlıkları alınıp toprağa gömme işlemi yukarıda anlatıldığı üzere gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık her hafta topraktan alınan kağıtlar, örneğe zarar vermeyecek şekilde hassasça temizlenmiş etüvde kurutulmuş ve testleri yapılmıştır. Çizelge 1’de farklı kağıt örnekleri ve iş paketlerindeki ağırlık değişimleri bulunmaktadır.

Çizelge 1. Farklı Kağıt Örnekleri ve İş Paketlerindeki Ağırlık Değişimi

	Beşinci Adım		Altıncı Adım		Yedinci Adım		Sekizinci Adım		Dokuzuncu Adım		Onuncu Adım		Onbirinci Adım	
	İlk A.	Son A.	İlk A.	Son A.	İlk A.	Son A.	İlk A.	Son A.	İlk A.	Son A.	İlk A.	Son A.	İlk A.	Son A.
	13.03.2026	23.03.2026	13.03.2026	31.03.2026	13.03.2026	7.04.2026	13.03.2026	13.04.2026	13.03.2026	27.04.2026	13.03.2026	4.05.2026	13.03.2026	11.05.2026
Gazete Kağıdı (gr)	0,679	0,938	0,701	2,798	0,697	0,764	0,695	0,935	0,689	0,492	0,688	0,418		
Dergi Kağıdı (gr)	1,02	1,357	1,017	3,894	1,024	1,978	1,015	1,604	1,012	1,421				
Baskılı Ofis Kağıdı (gr)	1,265	1,399	1,272	3,744	1,235	1,617	1,249	2,358	1,27	1,565	1,283	1,244		
Ambalaj Kağıdı (gr)	1,527	1,905	1,539	4,185	1,568	2,197	1,545	3,229	1,533					
Tuvalet Kağıdı (gr)	0,475	0,975	0,476	4,111	0,477	0,933	0,476							
Mukavva (gr)	9,574	10,6	9,701	9,661	9,634	8,769	9,713	8,83	9,803	10,581	9,784	46,386	9,772	18,004
Karton (gr)	7,617	9,467	7,742	8,024	7,477	8,701	7,558	9,56	7,63	8,561	7,836	21,344	7,742	24,04

Örneklerin bazı haftalardaki ağırlık kazanımlarını üzerindeki çamur parçacıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Her ne kadar özenle çamurlar temizlenmeye çalışılsa da mevsimin ortalama yağış miktarından fazla yağış almasından ötürü örnekler bazı haftalar daha çamurlu çıkmıştır. Çalışma, öğrencinin yazın ilgilenemeyeceğinden dolayı ders döneminde gerçekleştirilmiştir.

3.2. Kalınlık Değişimi

Kalınlık ölçümleri Bursa Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Laboratuvarında bulunan kalınlık ölçüm cihazıyla yapılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibidir. Kalınlık ölçüm cihazı Şekil 84 de görülmektedir. Çizelge 2 'de verilmiştir.



Şekil 84

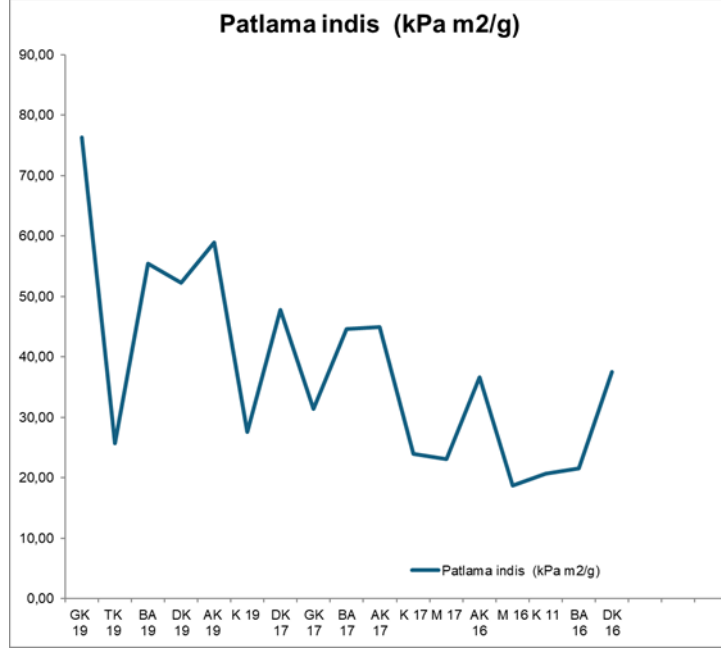
Çizelge 2. Farklı Kağıt Örnekleri ve İş Paketlerindeki Kalınlık Değişimleri

	Beşinci Adım(5. A.)		6.A	7.A	8.A	9.A	10.A	11.A
	13.03.2026	23.03.2026	31.03.2026	7.04.2026	13.04.2026	27.04.2026	4.05.2026	11.05.2026
Gazete Kağıdı (gr)	0,073	0,312	2.973	0.42	0.738	0.363		
Dergi Kağıdı (gr)	0,053	0.159	0.883	0.753	0.629	0.951		
Baskılı Ofis Kağıdı (gr)	0,095	0.338	0.853	1.226	1.814	0.553		
Ambalaj Kağıdı (gr)	0,135	0.398	1.192	0.612	0.487			
Tuvalet Kağıdı (gr)	0,153	0.506	1.123	0.806				
Mukavva (gr)	1,021	1.357	1,30	1.507	1.525	1.928		
Karton (gr)	2,863	3.063	2.270	3.162	3.182	3.035		

Çizelge 2’de kalınlık ölçüm değerleri incelendiğinde tuvalet kağıdı grubunun üçüncü haftadan sonra kalınlık ölçüm değerinin alınmadığı görülmektedir. Tuvalet kağıdını ambalaj kağıt grubu izlemektedir. Son haftalarda ise kağıtların toprak altında kısmen çözündüğünü ancak çıkartılabilen kağıtların da kalınlığının ölçülemediği yukarıda bulunan şekillerde de görülmektedir.

3.2. Mukavemet Değerlerindeki Değişim(Patlama Direnci Ölçümü)

Toprak altına gömülen yedi farklı grup kağıdın yaklaşık birer hafta ile toprak altından çıkarılan kağıtların mukavemet değerlerindeki değişim incelendiğinde, ilk haftalar kağıtların yüzeylerinde çamurların kalmasına rağmen sonuçlar verdiği ilerleyen haftalarda kağıtlardan bazılarının kısmen bazılarının ise tamamen çözündüğüne şahit olunmuştur. Bu iddialar raporun ilk bölümlerinde görsel olarak desteklenmiştir. Patlama grafiği Şekil 85’ de bulunmaktadır.



Şekil 85

Patlama grafiği incelendiğinde kontrol örneklerinin ortalama sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak yaklaşık her hafta topraktan çıkarılan kağıtların patlama değerlerinde azalma olduğu, toprak altında bir hafta gibi kısa bir sürede dahi kaldığında mukavemet değerlerinin etkilendiği anlaşılmaktadır. Grafikte bulunan veriler toprak altında bir ve iki hafta kalan kağıt örneklerinin patlama değerleridir. Diğer haftalarda patlama yapabilecek kadar güçlü kağıtlara ulaşamadığının da kanıtı olmaktadır.

Çalışma kağıtların toprak altında bir hafta kadar bir sürede dahi çözünmeye başladığının kanıtı niteliğindedir.

EK-1: KAYNAKLAR

1. <https://topraktema.org/toprak-nedir>(Erişim tarihi: 22.10.2024)
2. https://tr.wikipedia.org/wiki/Toprak_kirlili%C4%9Fi (Erişim tarihi: 22.10.2024)
3. <https://www.createrra.com.tr/blog/atiklarin-dogada-yok-olma-sureleri> (Erişim tarihi: 22.10.2024)

SICAKLIK FAKTÖRÜNE GÖRE ÇERÇEVESİZ VE ÇERÇEVELİ PV MODÜLLERİNİN ÜRETİM VERİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Mehmet KARA

Karabük Üniversitesi,

mehmetkara.edu@gmail.com – 0009-0008-9683-5075

Doç. Dr., Mehmet Onur KARAAĞAÇ

Sinop Üniversitesi,

okaraagac@sinop.edu.tr- 0000-0003-1783-9702

Prof. Dr., Alper ERGÜN

Karabük Üniversitesi,

alperergun@karabuk.edu.tr - 0000-0003-0402-4088

ÖZET

Bu çalışmada, 1000,64 kWp nominal kurulu güce sahip şebekeye bağlı bir fotovoltaik (PV) sistem, n-tipi tünel oksit pasivasyonlu temas (TOPCon) hücre teknolojisine sahip çerçeveli ve çerçevesiz panel tasarımları açısından, sıcaklık faktörünün üretim verileri üzerindeki etkisi odaklı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Sistemlerin yıllık ve ay bazlı enerji üretimleri ile performans oranları (PR) PVsyst simülasyon programı kullanılarak modellenmiştir. Çerçeve geometrisinin modül etrafındaki aerodinamik hava akışına ve soğumaya olan etkisini doğrudan incelemek amacıyla, her iki sistemin de referans hücre çalışma tabanı 25 °C olarak sabit tutulmuştur. Çerçevenin ısısal davranış üzerindeki etkisini incelemek üzere, PVsyst yazılımında bulunan ve termal modelinde hesaplanabilen sabit ısı katsayısı (Uc) değeri her çerçeveli ve çerçevesiz panel için deneysel verilerle desteklenip yazılıma tanımlanmıştır. Simüle edilen proje tasarımına ait saha verileri, PVsyst simülasyon programında tanımlanmıştır. PVsyst simülasyon raporu ve saha uygulama verilerinde elde edilen sonuçlarından elde edilen verilere göre, daha yüksek Uc değeri sayesinde daha etkin bir pasif soğuma performansı sergileyen çerçevesiz modül konfigürasyonu, nominal panel sıcaklığını 55 °C'den 52 °C'ye düşürmüş ve elektriksel verimliliği %18,24'den %18'92'ye yükseltmiştir. Bu termal iyileşme neticesinde çerçevesiz sistem, çerçeveli sisteme kıyasla yıllık enerji üretiminde 11.397 kWh net ek kazanç sağlayarak toplam 1.520.808 kWh yıllık üretime ulaşmıştır. Sistemlerin kümülatif enerji çıktıları üzerinden hesaplanan Performans Oranı (PR) değerleri incelendiğinde; çerçeveli sistem %86,58 seviyesinde, çerçevesiz sistemde ise bu oran %87,23 olarak hesaplanmıştır. Toplam 0,65 puanlık bir PR artışı kaydedilmiştir. Elde edilen bulgular, PV sistem mühendisliğinde modülün dış yapısal geometrisinin ve buna bağlı termal model katsayılarının (Uc), nominal işletme koşullarında sistemin nihai enerji çıkışı ve ısısal kayıplarının yönetimi üzerinde doğrudan belirleyici bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Çerçevesiz PV Modüller, Çerçeveli PV Modüller, Performans Oranı, Sıcaklık Kayıpları, PVsyst Simülasyonu.

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi, artan küresel enerji talebi ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri doğrultusunda dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de hızla yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkmaktadır. Türkiye’de elektrik enerjisi kurulu gücü 2026 yılı mayıs itibarıyla 125.478 MW seviyesine ulaşmış, bunun 78.187 MW’lık kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmuş ve yenilenebilir enerjinin toplam kurulu güç içindeki payı %62.31 olarak gerçekleşmiştir. Aynı dönemde güneş enerjisi kurulu gücü 26.837 MW düzeyine ulaşmış olup, bu kapasitenin 2.728 MW’ı lisanslı, 24.109 MW’ı ise lisanssız santrallerden oluşmaktadır [1]. Ayrıca uluslararası projeksiyonlarda, güneş enerjisinin yenilenebilir kapasite artışında başlıca büyüme kaynağı olmaya devam edeceği ve yeni kurulu güç artışlarının önemli bölümünü oluşturacağı belirtilmektedir [2].

PV sistemlerin performansı; güneş ışınımı, hücre sıcaklığı, çevresel koşullar ve sistem tasarım parametreleri gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu parametreler arasında sıcaklık, PV modüllerin elektriksel performansını doğrudan etkileyen en kritik değişkenlerden biridir. Literatürde, hücre sıcaklığındaki artışın modül çıkış gücünde azalmaya neden olduğu ve bu ilişkinin sıcaklık katsayısı ile ifade edildiği ayrıntılı biçimde ortaya konmuştur [3]. Hücre sıcaklığındaki her 1°C’lik artışın, PV modül veriminde yaklaşık %0,4–0,5 oranında düşüşe neden olabildiği bildirilmektedir [3, 4]. Özellikle kristal silikon tabanlı PV modüllerde sıcaklık, modülün elektriksel parametrelerini etkileyen en önemli faktörlerden olup sıcaklık değişimleri performans üzerinde doğrudan etkiye sahiptir [5]. Çeşitli deneysel çalışmalar, sıcaklığın performans koşullarını belirleyen temel faktörlerden biri olduğunu göstermektedir [6].

Bunlara ilave olarak, panel yüzey sıcaklığı artışın verim üzerinde doğrusal bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Denizli için yapılan çalışmada, panel yüzey sıcaklığı her 5 °C’lik artışın panel veriminde yaklaşık %0.3 oranında düşüşe neden olduğu belirtilmiştir [7]. Benzer Görselde Kayabaşı vd.’nin yapmış olduğu çalışmada PV modül çalışma sıcaklığının 35 °C artması durumunda modül veriminin yaklaşık %10 oranında azaldığı ifade edilmiştir. Aynı çalışmada sıcaklığın P-V karakteriğinde modül gerilimini düşürdüğü ve buna bağlı olarak çıkış gerilimi ile çıkış gücünde azalma meydana geldiği belirtilmiştir [8]. Çakır vd.’nin yaptığı çalışmada, panel sıcaklığındaki artışın verim üzerinde belirgin kayıplara yol açtığını ve sıcaklık kontrolünün sistem performansı açısından kritik bir unsur olduğu belirtilmiştir [9].

Fotovoltaik modüllerin performans değerleri STC (standart test koşulları) altında, 25 °C hücre sıcaklığı ve 1000 W/ m² ışınım seviyesinde belirlenmektedir. Ancak gerçek çalışma koşullarında sıcaklık ve ışınımdaki değişimler, modülün elektriksel karakteristiğinde sapmalara ve sistem performansını doğrudan etkilemektedir [10].

Sıcaklık etkisine ilave olarak PV modül tasarımı, çevresel etkilerin modül performans üzerindeki etkisini belirleyen önemli bir faktördür. Çerçevesiz modüller alüminyum çerçeve yapısı sayesinde yüzeyde çıkıntı oluşturur. Bu durum karlı havalarda kar birikimini ve yüzey sürtünmesini artırabilmektedir. Buna karşılık çerçevesiz modüller, daha düzgün yüzey yapısı

sayesinde karın daha kolay kaymasına imkân tanımakta ve özellikle zorlu çevresel koşullarda daha yüksek performans gösterebilmektedir [11].

Bu çalışmada, 1000,64 kWp nominal güce sahip şebekeye bağlı iki ayrı fotovoltaik sistem, Karabükü li coğrafi ve iklimsel koşulları altında modellenmiştir. Saha uygulaması olarak 7 Wp güce sahip çerçeveli ve çerçevesiz panel verileri analiz edilmiştir. Çalışmada sadece çerçeveli ve çerçevesiz tasarımların yol açtığı Uc ısı kayıp katsayısı saha verilerinin ışığında parametrik olarak değiştirilmiş; böylece modül çerçeve yapısının sıcaklık kayıpları, ay bazlı simülasyon üretim verileri ve kümülatif Performans Oranı (PR) üzerindeki izole ve net etkileri nicel olarak ortaya konmuştur.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, çerçeveli ve çerçevesiz modül tasarımlarının sıcaklık ve konvektif soğuma kaynaklı performans farklarını tam bir tutarlılıkla ortaya koyabilmek amacıyla, iki ayrı sistem modeli aynı meteorolojik veriler, aynı yerleşim modeli ve aynı elektriksel şema bileşenleri kullanılarak PVSyst V8.1.3 yazılımı ortamında saatlik çözünürlükte simüle edilmiştir.

2.1. Çalışma Alanı ve İklimsel Veriler

Çalışma alanı, Pvsyst programında Karabük Üniversitesi (Enlem 41.20 °N, Boylam 32.65 °E, Rakım 345 m, saat dilimi UTC+3) konum koşullarına göre analiz çalışması yapılmıştır. Bölgenin ışıınım potansiyeli güney bölgeye kıyasla daha düşük olmakla birlikte aylık ışıınım dağılımı yaz aylarında belirgin pik değerler göstermektedir. Hava durumu verileri Meteonorm 9.0 veritabanı, çalışmanın iklim verilerini oluşturmak için kullanılmıştır.

Çizelge 1’de Karabük Üniversitesi yerleşkesine ait PVSyst simülasyonda kullanılan yıllık meteorolojik veriler sunulmaktadır. Bölgenin yıllık ortalama global yatay ışıınım değeri 1518.0 kWh/m², eğimli düzleme gelen ışıınım 1643.3 kWh/m² olarak hesaplanmıştır. Aynı zamanda yıllık ortalama ortam sıcaklığı ve diğer iklim parametreleri de simülasyona giriş verisi olarak tanımlanmıştır. Bu meteorolojik veriler, çerçeveli ve çerçevesiz sistemlerin aynı çevresel koşullar altında karşılaştırılmasını sağlayarak analizleri tutarlılığını artırmıştır.

Çizelge 1. Karabük Üniversitesi için yıllık meteorolojik veri özeti

Parametre	İşareti	Değer
Enlem	°N	41.20
Boylam	°E	32.65
Rakım	m	345
Saat Dilimi	UTC+3	UTC+3
Global yatay ışınlama (yıllık ortalama)	Globhor	1518.0 kWh/m ²
Yatay difüz ışınlama (yıllık ortalama)	DiffHor	644.96 kWh/m ²
Çevre sıcaklığı (yıllık ortalama)	T_Amb	33.87 °C
Kolektöre yansıyan global (yıllık ortalama)	GlobInc	1643.3 kWh/m ²
IAM ve gölgeleme için düzeltilmiş etkin Global (yıllık ortalama)	GlobEff	1643.3 kWh/m ²

Çizelge 1’de tanımlanan parametreler Pvsyst simülasyon programına entegre edilmiştir.

2.2. Kullanılan PV Modüller

PVsyst Simülasyon programında, Çerçevesiz ve çerçevesiz olmak üzere iki farklı pv modül ile çalışma tasarımı yapılmıştır. 590 Wp nominal güç değerinde TOPcon mimarisine sahip fotovoltaiik modüller kullanılmıştır.

Karabük saha uygulamasında, Çerçevesiz ve çerçevesiz olmak üzere 7 Wp iki farklı pv modül ile gerçek saha ölçümleri analiz edilmiştir.

Her iki çalışmada da aynı hücre teknolojisi, enkapsulant ve cam yapısında olup temel fark modülün çevresine saran alüminyum çerçevenin bulunup bulunmamasıdır.

Çizelge 2 incelendiğinde, simülasyonda kullanılan çerçevesiz ve çerçevesiz PV modüllerin elektriksel ve yapısal özelliklerinin büyük ölçüde aynı olduğu görülmektedir. Her iki modül de 590 Wp gücünde, N-tipi TOPCon hücre teknolojisine ve çift cam yapısına sahiptir. Böylece elde edilen performans farklarının hücre teknolojisinden veya elektriksel özelliklerden değil, yalnızca çerçeve yapısının oluşturduğu termal davranış farklılıklarından kaynaklanması sağlanmıştır.

Çizelge 1. PVsyst’de Kullanılan Çerçevesiz ve Çerçevesiz Topcon Pv Modül Teknik Özellikleri

Özellik	Çerçevesiz Modül	Çerçevesiz Modül
Hücre Teknolojisi	N Tip TOPCon	N Tip TOPCon
Maksimum Güç (P _{mpp} /Wp)	590	590
Hücre Boyutu	182x91 mm	182x91 mm
Modül Ağırlık	~ 32.5 kg	~ 31.0 kg
Modül Boyutu	Aynı	Aynı
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 C +85 C	-40 C +85 C
Maksimum Sistem Voltajı	1500 VDC	1500 VDC
Maksimum Seri Sigorta Değeri	30 A	30 A
Güç Çıkışı Toleransları (P _{max})	0/+5W	0/+5W
Maksimum Güç Çift Yüzlülük	70+5%	70+5%
Optik Yapı	Çift Cam	Çift Cam
Enkapsulant	EVA	EVA
Sıcaklık Katsayısı (P _{mpp})	0.35%/ C	0.35%/ C
Sıcaklık Katsayısı (Voc)	-0.28%/ C	-0.28%/ C
Sıcaklık Katsayısı (Isc)	+0.048%/ C	+0.048%/ C

Çizelge 3’te ise deneysel saha uygulamasında kullanılan çerçevesiz ve çerçevesiz 7 Wp PV modüllerin teknik özellikleri verilmiştir. Her iki modülün açık devre gerilimi, kısa devre akımı ve maksimum güç noktası akımı gibi temel elektriksel parametreleri aynı olup, deneysel çalışmada karşılaştırmayı etkileyecek değişkenler sabit tutulmuştur. Böylece saha ölçümlerinde gözlenen performans farklılıkları yalnızca çerçeveden kaynaklanan ısı etkilerinden oluştuğu kabul edilmiştir.

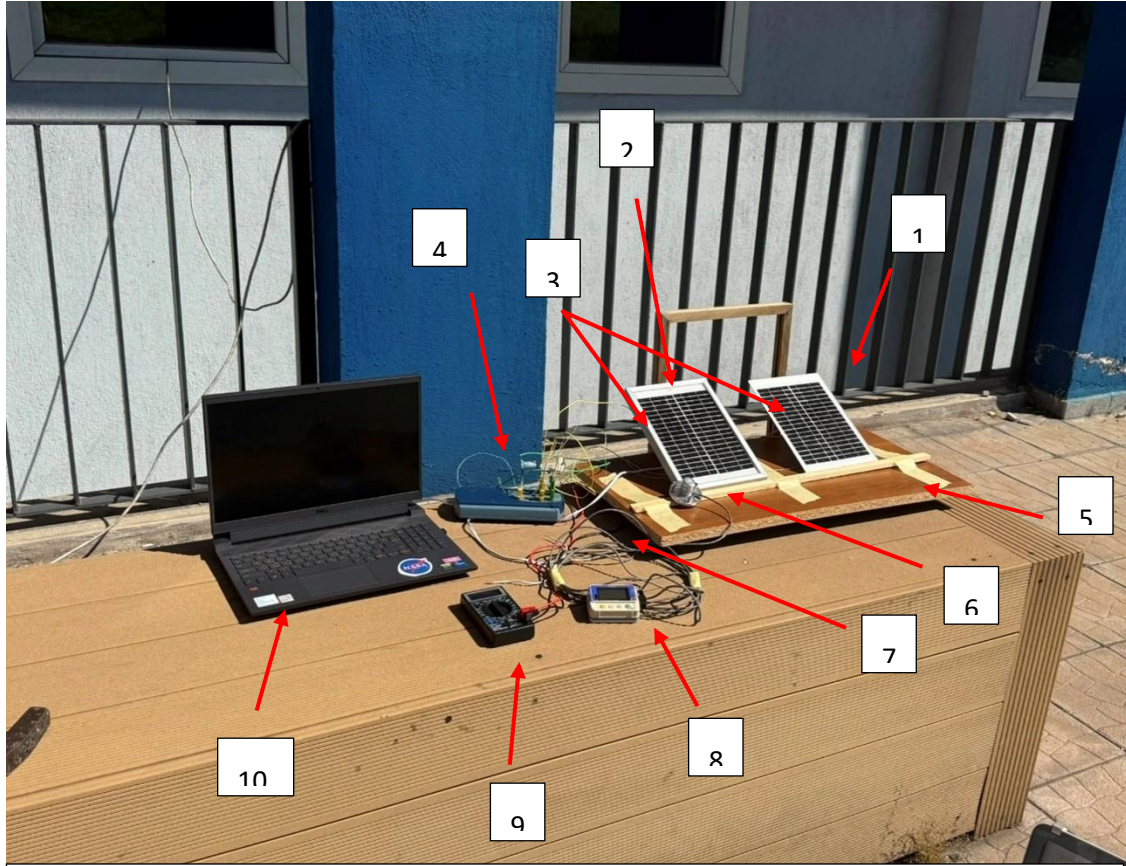
Çizelge 3. Saha Uygulamasında Kullanılan PV Modüllerin Teknik Özellikleri

Özellik	Çerçevesiz Modül	Çerçevesiz Modül
Hücre Teknolojisi	N Tip TOPCon	N Tip TOPCon
Maksimum Güç (P _{mpp} /Wp)	7	7
Modül Boyutu	Aynı	Aynı
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-40 C +85 C	-40 C +85 C
Enkapsulant	EVA	EVA
Açık Devre Gerilimi (Voc)	24,62 V	24,62 V

Kısa Devre Akımı (Isc)	0,36 A	0,36 A
Maksimum Güç Noktası Akımı (Imp)	0,34 A	0,34 A

2.3. Saha Uygulama Düzeneği

Simülasyon modellerinde kullanılacak olan U_c (sabit ısı kayıp katsayısı), Simüle edilen proje tasarımına ait verilerle çerçevesiz ve çerçevesiz sistemde hesaplanmıştır. Bu çalışma, pasif soğuma performanslarının deneysel olarak doğrulanması amacıyla Karabük Üniversitesi yerleşkesi açık saha koşullarında kurulmuştur. Düzeneğin yapısal ve mekanik tasarımı Görsel 2.1'de gösterilmektedir.



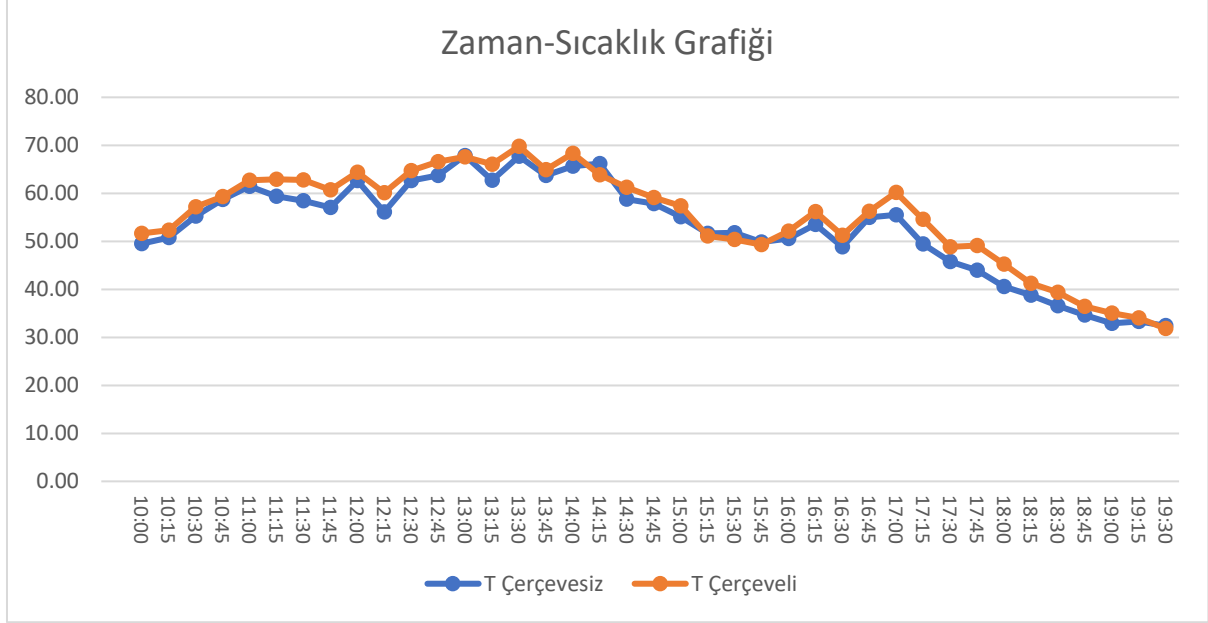
1. Çerçevesiz PV Modül, 2. Çerçevesiz PV Modül, 3. Sıcaklık Sensörü, 4. Veri Toplama Kartı, 5. PV Modül Taşıyıcı Sehpa, 6. Işınım Sensörü Pyranometre, 7. Bağlantı Kabloları, 8. Dijital Enerji Ölçer, 9. Multimetre, 10. Dizüstü bilgisayar.

Görsel 1. Deneysel saha uygulama düzeneği.

2.3.1 Elde Edilen Çıktı Grafikleri

Görsel 2'de görüldüğü üzere, gün içindeki anlık ışınlam şiddetinin (G) pik noktaya ulaştığı saatlerde, alüminyum profil sınır tabaka engeli bulunan çerçevesiz modül sıcaklığı belirgin Görselde yükselirken; açık kenar geometrisine sahip çerçevesiz modül, serbest konveksiyon avantajı sayesinde gün boyunca daha düşük hücre sıcaklıklarında (T_{cell}) kararlı kalmıştır. Saha

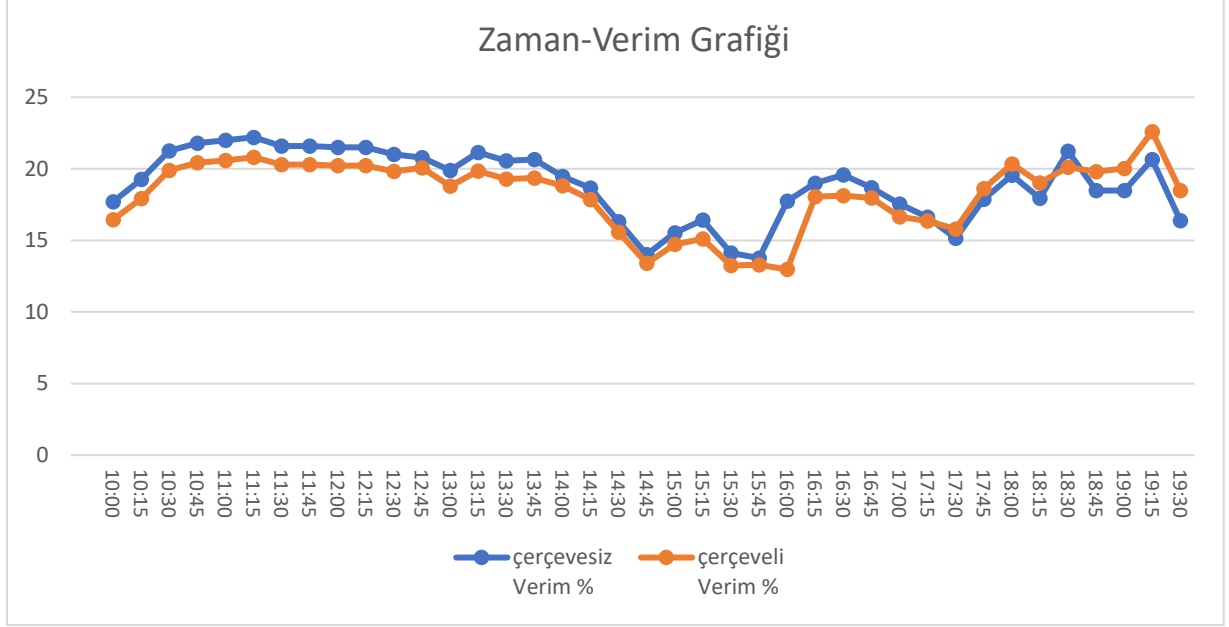
verilerinden elde edilen bu anlık sıcaklık farkları, analitik Uc hesabı için temel girdi parametrelerini oluşturmuştur.



Görsel 2. Gün İçi Anlık Işınım ve Ortam Sıcaklığı Değişimine Bağlı Çerçevesiz ve Çerçevesiz Modül Hücre Sıcaklıklarının Karşılaştırılması.

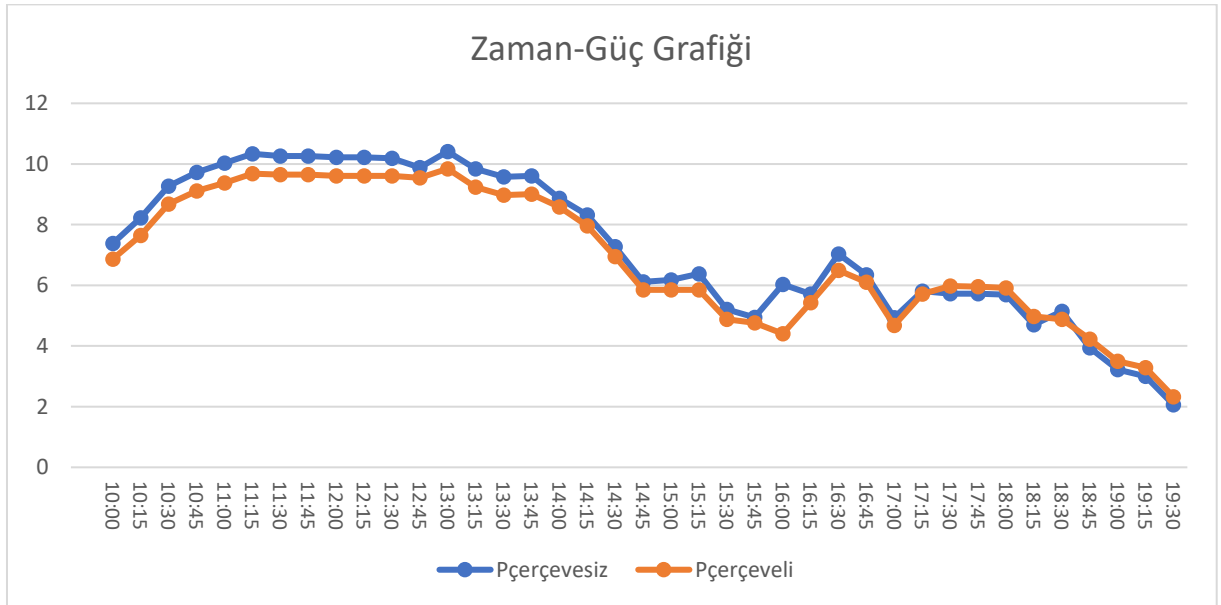
Deneyisel izleme düzeneğindeki panellerin anlık elektriksel parametreleri üzerinden hesaplanan anlık verimlilik değerleri doğrultusunda Zaman-Verim Grafiği Görsel 3'te sunulmuştur. Grafikten görüleceği üzere, güneş ışınımının (G) pik noktaya ulaştığı ve panel yüzey sıcaklıklarının en yüksek seviyeye çıktığı öğle saatlerinde, çerçevesiz panelin elektriksel verimliliği ısı birikimi nedeniyle belirgin bir düşüş eğilimine girmiştir.

Buna karşılık, Görsel 1'deki Zaman-Sıcaklık Grafiği'nde daha düşük çalışma sıcaklıklarına sahip olduğu kanıtlanan çerçevesiz panel, sıcaklık kaynaklı verim kayıplarını minimize ederek gün boyunca daha yüksek ve kararlı bir anlık verimlilik seviyesi sergilemiştir.



Görsel 3. Anlık Işınım Şiddetine Bağlı Çerçevesiz ve Çerçeveli Modüllerin Gün İçi Zaman-Verim Grafiği.

Deneyisel izleme düzeneğindeki panellerin anlık akım ve gerilim ölçümleri üzerinden elde edilen elektriksel güç çıktıları doğrultusunda Zaman-Güç Grafiği Görsel 4'te sunulmuştur. Grafikten açıkça görüleceği üzere, anlık ışınım şiddetinin (G) en yüksek seviyeye ulaştığı öğle periyodunda, çerçevesiz modülün ürettiği anlık güç, çerçeveli modüle kıyasla belirgin şekilde daha yüksek gerçekleşmiştir. Hücre teknolojileri ve nominal etiket güçleri (7 Wp) özdeş olan bu iki modülün güç çıkışı farkı Görsel 2 ve Görsel 3'deki grafiklerde ortaya konulan ısıl sönümleme direncinin elektriksel performansa olan doğrudan ve olumlu katkısını doğrulamaktadır.



Görsel 4. Anlık Işınım Şiddetine Bağlı Çerçevesiz ve Çerçeveli Modüllerin Gün İçi Zaman-Güç Grafiği.

2.4. Isı Kayıp Katsayısının (Uc) Saha Verileriyle Hesaplanması

Pvsyst simülasyon programında çerçeveli ve çerçevesiz modüllerin üreteceği enerjinin gerçeğe en yakın Görselde modellenebilmesi için, öncelikle deneysel saha düzeneğinden elde edilen anlık veriler kullanılarak her iki varyantın gerçek Sabit Isı Kayıp Katsayıları (Uc) analitik olarak hesaplanmıştır.

$$T_{cell} = T_{amb} + a \cdot G \cdot \frac{1-\eta}{U_c + U_{v.v}} \quad (2.1)$$

T_{cell}: Hücre sıcaklığı (°C)

T_{amb}: Çevre sıcaklığı (°C)

a: Modül malzeme yutuculuk (absorptivity) katsayısı (sabit a:0,9)

G: Piranometre ile ölçülen anlık ışıyım şiddeti (W/m²)

η: Ortalama elektriksel verimlilik

U_v: Rüzgâra bağlı ısı kayıp katsayısı (W/m²K/m/s) (sabit U_v:1,2) bölgesel varsayım

v: Anlık rüzgâr hızı (m/s) (sabit v:1,6 m/s) bölgesel varsayım

U_c: Sabit ısı kayıp katsayısı (W/m²K)

Günlük ölçüm periyodu boyunca toplanan veri matrislerinin analitik çözümü ve ortalamaları neticesinde şu gerçek katsayılar ulaşılmıştır.

Çerçeveli Modül: Alüminyum profillerin modül kenarlarında oluşturduğu hava akış engeli ve arka yüzeydeki ısı birikim (sınır tabaka direnci) nedeniyle gerçek sabit ısı kayıp katsayısı (Uc) 27,4 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Çerçevesiz Modül: Alüminyum çerçevenin bulunmaması, açık kenar geometrisi ve çift cam (glass-glass) yapının sunduğu serbest doğal konveksiyon avantajı sayesinde gerçek sabit ısı kayıp katsayısı (Uc) 32,0 W/m²K olarak hesaplanmıştır.

Saha verilerinden yola çıkılarak hesaplanan bu gerçek Uc katsayıları 1000,64 kurulu güce sahip güneş enerji santralinin PVsyst simülasyon modeline doğrudan termal giriş paametresi olarak beslenmiştir. Görsel 5 ve Görsel 6’da girilen değerler PVsyst programında gösterilmiştir.

Alan termal kayıp faktörünü veya standart NOCT katsayısını tanımlayabilirsiniz:
program denklığı verir!

Alan termal kayıp faktörü

Termal kayıp faktörü $U = U_c + U_v \cdot \text{Rüzgar hızı}$

Sabit kayıp faktörü U_c W/m²K

Rüzgar kayıp faktörü U_v W/m²K m/s

Yapıya göre varsayılan değer

☐ Hava sirkülasyonlu "Serbest" modüller

☐ Kubbe

☐ Arka hava kanallı yarı entegre

☐ Arka yalıtımlı entegre

NOCT eşdeğer faktörü

NOCT (Çalışan hücrenin nominal sıcaklığı) genellikle modülün kendisi için üreticiler tarafından belirlenir. İşletim dizisine uygulandığında bir anlam ifade etmeyen, U-değeri tanımına alternatif bir bilgidir.

NOCT yaklaşımını kullanmayınız. Diziye uygulandığında karışıklık getirir!

Görsel 5. Çerçevesiz Sistem PVsyst'te Girilen Uc Değeri.

Alan ortalama kayıp faktörünü veya standart NOCT katsayısını tanımlayabilirsiniz:
program denklığı verir!

Alan ortalama kayıp faktörü

Termal kayıp faktörü

$U = U_c + U_v \cdot \text{Rüzgar hızı}$

Sabit kayıp faktörü U_c W/m²K

Rüzgar kayıp faktörü U_v W/m²K m/s

Yapıya göre varsayılan değer

☐ Hava sirkülasyonlu "Serbest" modüller

☐ Kubbe

☐ Arka hava kanallı yarı entegre

☐ Arka yalıtımlı entegre

NOCT eşdeğer faktörü

NOCT (Çalışan hücrenin nominal sıcaklığı) genellikle modülün kendisi için üreticiler tarafından belirlenir. İşletim dizisine uygulandığında bir anlam ifade etmeyen, U-değeri tanımına alternatif bir bilgidir.

NOCT yaklaşımını kullanmayınız. Diziye uygulandığında karışıklık getirir !

Görsel 6. Çerçevesiz Sistem için PVsyst'te Girilen Uc Değeri

2.5. Çerçevesiz ve Çerçevesiz Sistemlerin Aylık PVsyst Simülasyon Üretim Verileri

Saha verilerinden türetilen sabit ısı kayıp katsayısı (U_c) ile PVsyst yazılımında 1000,64 kWp kurulu güce sahip endüstriyel ölçekli simülasyon modelinin ay bazlı üretim çıktıları Çizelge 4'de karşılaştırmalı bir Görselde analiz edilmiştir.

Çizelge 4. Çerçevesiz ve Çerçevesiz Sistemlerin Aylık PVsyst Simülasyon Üretim Verileri

Aylar	Çerçevesiz Sistem Üretimi (kWh)	Çerçevesiz Sistem Üretimi (kWh)	Net Enerji Kazancı (kWh)
Ocak	78.533	79.045	512
Şubat	94.330	95.034	704
Mart	124.201	125.035	834
Nisan	142.387	143.422	1.035
Mayıs	156.924	158.157	1.233
Haziran	159.165	160.476	1.311
Temmuz	175.000	176.433	1.433
Ağustos	170.939	172.287	1.348
Eylül	142.584	143.732	1.148
Ekim	112.951	113.793	842
Kasım	83.614	84.180	566
Aralık	68.783	69.213	430
Toplam	1.509.411	1.520.808	11.397

Çizelge 4'de sunulan ay bazlı net üretim değerleri incelendiğinde kış aylarında (Kasım, Aralık, Ocak, Şubat) ortam sıcaklığının düşük olması sebebiyle her iki sistem arasındaki üretim

farkının minimum seviyede kaldığı görülmektedir. Ancak, ortam sıcaklığı ve güneş ışınım şiddetinin eş zamanlı yükseldiği ilkbahar ve yaz periyodunda (Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos) iki sistem arasındaki makas çerçevesiz sistem lehine belirgin Görselde açılmıştır.

Yıllık kümülatif toplamda çerçeveli sistem 1.509.411 kWh elektrik üretirken, çerçevesiz sistem 1.520.808 kWh üretime ulaşarak yıllık net 11.397 kWh ek enerji kazancı sağlamıştır.

Elde edilen üretim değerleri doğrultusunda, Çerçevesiz modül tasarımı sayesinde elde edilen yıllık 11.397 kWh ek enerji kazancıyla çerçeveden kaynaklı 1 MWp ölçeğindeki bir santralde işletmeye geçildiğinde üretimden EPDK'nın güncel sanayi/ticarethane birim tarifelerinden (ortalama 0,1 USD/kWh) 1.140 USD ek finansal gelir anlamına gelmektedir. 25 yıllık standart bir GES işletme ömrü ve panel yaşlanma degradasyonları göz önüne alındığında, çerçevenin geometrik olarak ortadan kaldırılması, yatırımcıya sistem genelinde hiçbir ek işletme maliyeti getirmeksizin toplamda 25.000 USD'nin üzerinde net ekonomik katma değer sağlamaktadır. Ayrıca, ilk kurulum aşamasında alüminyum çerçeveden kaynaklı her modül için yaklaşık 1,5 kg alüminyum fayda toplamda 2.544 kg (ortalama alüminyum 6,41 USD/kg) 16.307 USD finansal kazanca dahil edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, çerçeveli ve çerçevesiz fotovoltaik modül tasarımlarının termal davranışları, ısıtılma dirençleri ve nihai enerji üretim performansları hem simüle edilen proje deneysel saha ölçümleriyle PVsyst simülasyonları kullanılarak kapsamlı bir biçimde değerlendirilmiştir. Klasik literatür çalışmalarından farklı olarak bu araştırma, varsayımsal veya laboratuvar tabanlı NOCT değerleri yerine; sahada kurulan 7 Wp'lik prototip veri izleme düzeneğinden alınan anlık Zaman-Sıcaklık ve Zaman-Verim verileri üzerinden Sabit Isı Kayıp Katsayısının (U_c) analitik olarak hesaplanması ve 1000,64 kWp (1 MWp) ölçeğinde bir endüstriyel modele aktarılması esasına dayanmaktadır.

Elde edilen deneysel bulgular doğrultusunda şu temel sonuçlara ulaşılmıştır:

Karabük iklim koşullarında yürütülen deneysel izleme süreçlerinde (Zaman-Sıcaklık Grafiği), yüksek ışınlam ve çevre sıcaklığı altında çerçevesiz modülün gün boyunca çerçeveli modüle kıyasla daha soğuk ve kararlı çalıştığı deneysel olarak kanıtlanmıştır.

Sahada yürütülen deneysel izleme süreçlerinde, alüminyum çerçevenin modül kenarlarında oluşturduğu laminar akış engeli ve sınır tabaka termal direnci net bir Görselde gözlemlenmiştir. Bu engelin ortadan kalktığı çerçevesiz yapıda, açık kenar geometrisi serbest doğal konveksiyonu aktive etmiş ve analitik hesaplamalarda çerçeveli modül için $U_c=27,4 \text{ W/m}^2\text{K}$, çerçevesiz modülde $U_c=32,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak hesaplanmıştır.

1000,64 kWp (1 MWp) ölçeğindeki endüstriyel modele aktararak PVsyst programında simüle edilmiştir. Yıllık toplamda çerçeveli sistem 1.509.411 kWh üretirken, çerçevesiz sistem 1.520.808 kWh üretim hacmine ulaşmış ve sadece çerçeve geometrisinin modifikasyonu ile yıllık 11.397 kWh net elektrik kazancı elde edilmiştir.

Çerçevesiz tasarım, ilk yatırımda alüminyum malzeme maliyetini %5-%10 düşürmekte; azalan panel ağırlığı sayesinde nakliye, montaj ve taşıyıcı konstrüksiyon statik yük giderlerini optimize etmektedir. İşletme sürecinde ise kenar bariyeri olmadığından yağmurla doğal temizlik sağlamakta; toz çamur birikimini ve hot-spot arıza riskini azaltmaktadır.

4. ÖNERİLER

Gelecek çalışmalarda, çerçevesiz tasarımın sunduğu konvektif ve optik soğuma avantajlarının n-tipi TOPCon dışındaki yeni nesil hücre mimarilerinde (HJT, IBC) test edilmesi ve farklı rüzgâr hızlarında sensör tabanlı uzun süreli sıcaklık izleme çalışmaları yürütülmesi literatüre önemli katkılar sağlayacaktır. Bununla birlikte, büyük ölçekli sahalarda insansız hava araçları (İHA) yardımıyla IR görüntüleme bazlı sıcaklık harita analizlerinin yapılması ve rüzgârın açık kenar aerodinamiğindeki türbülans etkilerini incelemek üzere Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) simülasyonlarının kurgulanması, tasarıma özel termal model parametrelerinin daha hassas optimize edilmesine olanak tanıyacaktır.

KAYNAKÇA

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). “Elektrik üretim ve kurulu güç istatistikleri”. https://ytbsbilgi.teias.gov.tr/ytbsbilgi/frm_istatistikler.jsf (2026).

International Energy Agency, “Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030”, **IEA Report**, Paris (2024).

Skoplaki, E., Palyvos, J. A. “On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations”, **Solar Energy**, 83(5), 614–624 (2009).

Demir, H. B., Özkan, A. O., “Fotovoltaik panellerde sıcaklık ve zenit açısının panel güç üretimine etkisi”, **Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 1 (1): 1-9 (2019).

Arifin, Z., Tjahjana, D. D. P., Hadi, S., Rachmanto, R. A., Setyohandoko, G., Sutanto, B., “Numerical and experimental investigation of air cooling for photovoltaic panels using aluminum heat sinks”, **International Journal of Photoenergy**, Article ID 1574274, 1-9 (2020).

Ale, T. O., Rotipin, K. J., Makanju, T. D. “Temperature effects on optimal performance of PV module”, **Journal of Engineering Advancements**. 162-165 (2022).

Güven, Ş., “Fotovoltaik panel yüzey sıcaklığının çıkış gücü ve verim üzerindeki etkisinin incelenmesi”, **Mühendis ve Makina Araştırma Makalesi**, 63 (707): 429-442 (2022).

Kayabaşı, R., Kaya, M., “Effect of module operating temperature on module efficiency in photovoltaic modules and recovery of photovoltaic module heat by thermoelectric effect”, *Journal of Thermal Engineering*, 9 (1): 191-204 (2023).

Çakır, A., Onay, E., “Fotovoltaik panellerin verimliliğinin artırılmasında su soğutmalı otomasyon sistemi uygulaması: Antalya örneği”, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 13 (1): 23-33 (2021).

Aswad, A. M., Aydın, Ç., Farazadi, M., Atilla, D. Ç., “Sıcaklık ve güneş ışıınım değişimlerinin fotovoltaik sistemler üzerindeki etkileri”, *AURUM Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi*, 7 (2): 235-257 (2023).

Aubell, J. P., Gebremedhin, A.” Framed or Frameless Photovoltaic in Snow-Experiencing Climates”, *International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Sciences*, 742-753 (2021).

KARABÜK ŞARTLARINDA BİR ISI POMPASININ KIŞ VE BAHAR DÖNEMİ ENERJİ TÜKETİM PROFİLİ VE EKONOMİK ANALİZİ

İsmail ARSUN

Kardemir San. ve Tic. A.Ş.,

arsun_i@hotmail.com- 0009-0006-9223-6679

Doç. Dr., Mehmet Onur KARAAĞAÇ

Sinop Üniversitesi,

okaraagac@sinop.edu.tr- 0000-0003-1783-9702

Prof. Dr., Alper ERGÜN

Karabük Üniversitesi,

alperergun@karabuk.edu.tr- 0000-0003-0402-4088

ÖZET

Fosil yakıtların çevresel etkileri ve artan enerji maliyetleri konut iklimlendirmesinde yüksek verimli ve sürdürülebilir alternatiflerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışmada, Karabük Merkez Bulak Köyü lokasyonunda yer alan 130 m² net kullanım alanına sahip alttan ısıtmalı müstakil bir konutta havadan suya bir ısı pompasının kış ve bahar dönemlerindeki dinamik enerji tüketimi ile ekonomik performansı deneysel saha verileriyle incelenmiştir. Çalışma kapsamında, meskenin genel evsel tüketim ve ısı pompası tüketim verileri 26 Ocak – 22 Mayıs 2026 tarihleri arasındaki 116 günlük süreç boyunca eş zamanlı olarak takip edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, konutun 116 günlük toplam faydalı termal enerji ihtiyacı 6.685,4 kWh olarak hesaplanmıştır. Isı pompasının mevsimsel yük payı toplam hane enerji bütçesinde kışın %79,5 iken, bahar aylarında dış ortam sıcaklığının artmasıyla %69,7 seviyesine düşmüştür. Toplam ısı yükün konvansiyonel bir yoğunlaşmalı doğalgaz kombisiyle karşılanması durumu teorik olarak modellenmiş ve 7.945,65 TL işletme maliyeti oluşturacağı belirlenmiştir. Buna karşın mevcut ısı pompası sistemi, aynı ısı konfor ve sıcak su arzını net 4.495,00 TL elektrik sarfiyatı ile karşılayarak doğalgaza kıyasla %43,4 oranında net bir ekonomik tasarruf sağlamıştır. Saha sonuçları, düşük besleme sıcaklığı gerektiren alttan ısıtma tesisatlarında havadan suya ısı pompalarının Türkiye konut enerji piyasası koşullarında oldukça rekabetçi, finansal açıdan avantajlı ve sürdürülebilir bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Havadan Suya Isı Pompası, Tekno-Ekonomik Analiz, Doğalgaz Kombisi.

1. GİRİŞ

Isı pompaları, enerjiyi sıfırdan üretmek yerine, dış ortamda (hava, su veya toprak) düşük sıcaklıkta saklı bulunan termal enerjiyi alarak yüksek sıcaklıktaki bir ortama transfer eden yüksek verimli sistemlerdir. Temel çalışma prensipleri soğutma çevrimlerine dayanan bu

sistemler; evaporatör, kompresör, kondanser ve genişleme vanası olmak üzere dört temel bileşenden meydana gelmektedir. Evaporatör aşamasında dış ortamdaki düşük sıcaklıktaki ısıyı emen akışkan gaz fazına geçer, ardından kompresör vasıtasıyla sıkıştırılarak basıncı ve sıcaklığı yükseltilir. Kondanser bölümünde yüksek sıcaklıktaki bu enerji binanın ısıtma tesisatına (yerden ısıtma, radyatör veya boyler hattı) aktarılır.

Isı pompaları yararlandıkları ısı kaynağına göre hava, su ve toprak kaynaklı sistemler şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu sistemler arasında hava kaynaklı ısı pompaları; dış ortam havasının yaygın ve ücretsiz bir ısı kaynağı olması, sondaj veya geniş arazi gerektirmemesi, kurulumunun görece kolay olması ve hem ısıtma hem de soğutma amacıyla kullanılabilmesi gibi avantajlara sahiptir. Temel olarak kompresör, kondenser, genişleme elemanı ve evaporatörden oluşan bu sistemlerde soğutucu akışkanın buhar sıkıştırılmalı çevrim boyunca gerçekleştirdiği faz değişimleri aracılığıyla ısı transferi sağlanmaktadır. Sistem performansı genellikle üretilen ısı enerjisinin tüketilen elektrik enerjisine oranını ifade eden performans katsayısı (COP) ve mevsimlik performans katsayısı (SCOP) ile değerlendirilmektedir. Isı kaynağı ile ısıtılan ortam arasındaki sıcaklık farkının azalması, genel olarak sistem veriminin yükselmesini sağlamaktadır (Özdemir & Onat, 2022). Hava kaynaklı ısı pompalarının performansı dış ortam sıcaklığı, bağıl nem, istenen çıkış suyu sıcaklığı, kompresör teknolojisi, soğutucu akışkan özellikleri ve buz çözme işlemleri gibi birçok parametreye bağlıdır. Altun ve Onat (2025), havadan suya bir ısı pompası üzerinde gerçekleştirdikleri deneylerde COP değerinin dış ortam sıcaklığına önemli ölçüde bağlı olduğunu ve bu değer -15°C 'de 2,13 iken 20°C 'de 5,24'e yükseldiğini belirlemiştir. Bu sonuç, dış hava sıcaklığının azalmasıyla evaporatör sıcaklığının düşmesi, kompresör işinin artması ve sistemin ısıtma kapasitesinin azalması arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bağıl nem de evaporatör yüzeyinde kırağı oluşumunu ve buz çözme gereksinimini etkileyerek enerji tüketimini değiştirebilmektedir. Dolayısıyla hava kaynaklı ısı pompası seçiminin yalnızca nominal cihaz performansına göre değil, sistemin kullanılacağı bölgenin sıcaklık ve nem koşulları dikkate alınarak yapılması gerekmektedir. Soğuk iklim koşulları, hava kaynaklı ısı pompalarının yaygınlaşmasındaki başlıca teknik sınırlılıklardan biridir. Konrad ve MacDonald (2023), piyasada bulunan soğuk iklim tipi hava kaynaklı ısı pompalarının çoğunda değişken hızlı döner veya scroll kompresör, akümülatör ve ters çevrimli buz çözme teknolojilerinin kullanıldığını belirtmiştir. Bununla birlikte birçok sistemin çok düşük sıcaklıklarda önemli ölçüde kapasite kaybettiği ve özellikle dış ortam sıcaklığının -15°C 'nin altına düştüğü bölgelerde yapının tüm ısıtma yükünü tek başına karşılayamadığı bildirilmiştir. Bu koşullarda yardımcı elektrikli ısıtıcıların, hibrit sistemlerin, soğutucu akışkan enjeksiyonunun veya çok kademeli çevrimlerin kullanılması gerekebilmektedir. Değişken hızlı kompresörler ise cihaz kapasitesinin bina yüküne göre ayarlanmasına imkân vererek kısmi yük verimini ve mevsimlik enerji performansını geliştirmektedir. Isı pompasının bağlandığı ısı dağıtım sistemi de enerji tüketimi üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Yılmaz, Gürel ve Akdemir (2023), İzmir'in Alaçatı ilçesinde bulunan üç katlı bir villanın hava kaynaklı ısı pompasıyla ısıtılmasını incelemiş; yerden ısıtma ve düşük sıcaklık radyatörü uygulamalarını karşılaştırmıştır. Çalışmada, düşük tesisat suyu sıcaklığıyla çalışan yerden ısıtma sisteminin SCOP değerinin düşük sıcaklık radyatörlü sisteme göre daha yüksek olduğu, bunun sonucunda yıllık elektrik tüketiminde 2052 kWh ve karbondioksit emisyonunda 804 kg azalma sağlandığı

belirlenmiştir. Bu sonuçlar, hava kaynaklı ısı pompalarının geniş ısı transfer yüzeyine sahip ve düşük su sıcaklıklarında çalışan yerden ısıtma sistemleriyle birlikte kullanılmasının enerji verimliliğini artırdığını göstermektedir. Hava kaynaklı ısı pompalarının çevresel üstünlüklerinin yanında ekonomik uygulanabilirliği de sistemin yaygınlaşması açısından önemlidir. İlk yatırım maliyetleri geleneksel sistemlere göre yüksek olabilmekle birlikte, düşük işletme giderleri ve enerji tasarrufu bu farkı sistem ömrü içerisinde karşılayabilmektedir. Wilson ve arkadaşları (2024), Amerika Birleşik Devletleri'ndeki farklı konut tipleri üzerinde gerçekleştirdikleri geniş kapsamlı analizde hava kaynaklı ısı pompalarının yaşam döngüsü boyunca bütün eyaletlerde sera gazı emisyonlarını azaltabildiğini ve yaklaşık 65 milyon konutta teşvik olmadan ekonomik olabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte ekonomik sonuçların iklim, bina yalıtımı, mevcut ısıtma yakıtı, elektrik fiyatı ve cihaz verimliliğine göre önemli ölçüde değiştiği vurgulanmıştır. Yüksek verimli soğuk iklim cihazları enerji faturalarındaki artış riskini azaltmakta, ancak daha yüksek ilk yatırım maliyeti oluşturmaktadır. Bu nedenle bina kabuğunun iyileştirilmesi, doğru kapasite seçimi ve destekleyici teşvik politikaları önem taşımaktadır. Hava kaynaklı ısı pompalarının kullanım alanları yalnızca mahal ısıtmasıyla sınırlı olmayıp kullanım sıcak suyu ve yüksek sıcaklık gerektiren bazı uygulamaları da kapsamaktadır. Leonzio, Fennell ve Shah (2022), yüksek sıcaklıkta su üretiminde kullanılan hava kaynaklı ısı pompalarını incelemiş ve transkritik çevrimlerle yaklaşık 90 °C, ısı geri kazanımlı yenilikçi çevrimlerle ise 99 °C'ye yaklaşan sıcaklıkların elde edilebildiğini belirtmiştir. Uygun elektrik üretim karışımı ve özellikle yenilenebilir elektrik kullanılması durumunda bu sistemlerin geleneksel kazanlara kıyasla birincil enerji tüketimi, işletme maliyeti ve karbondioksit emisyonlarında önemli avantajlar sağlayabileceği ifade edilmiştir. Isı pompalarının güneş enerjisi sistemleriyle bütünleştirilmesi, elektrik tüketimini ve dış hava koşullarına bağımlılığı azaltmaya yönelik önemli bir diğer yaklaşımdır. Büyükzeren (2022), evsel sıcak su üretiminde kullanılan güneş enerjisi destekli hava kaynaklı bir ısı pompasını deneysel ve teorik olarak incelemiştir. TRNSYS ortamında oluşturulan model deneysel verilerle doğrulanmış ve incelenen parametrelerdeki en yüksek ortalama sapma %4,5 olarak hesaplanmıştır. Yalnızca ısı pompası ve boylerden oluşan temel sistemin yıllık elektrik tüketimi 1431,44 kWh iken, bir termal güneş kolektörü eklenmesiyle bu değer 866,73 kWh'ye, iki termal kolektör kullanılmasıyla ise 613,46 kWh'ye düşmüştür. İncelenen sistemlerde yaklaşık 3,9–4,6 yıl arasında değişen geri ödeme sürelerinin elde edilmesi, termal ve fotovoltaik kolektörlerin uygun biçimde birleştirilmesinin hem enerji hem de ekonomik performansı geliştirebildiğini göstermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, konut iklimlendirmesinde sürdürülebilir bir teknoloji olan havadan suya bir ısı pompasının Batı Karadeniz Bölgesi'nin çetin kış ve geçiş iklimi özelliklerini barındıran Karabük ili (Merkez Bulak Köyü) şartlarındaki gerçek işletme performansını deneysel saha verileri üzerinden incelemektir. Literatürde sıklıkla karşılaşılan ve ideal laboratuvar koşullarına ya da teorik simülasyonlara dayanan verilerin ötesine geçerek 130 m² alttan ısıtılmalı müstakil bir konutun gerçek kış ve bahar dönemi enerji tüketim davranışları 116 gün boyunca eş zamanlı kontrol edilmiştir. Çalışma, elde edilen deneysel verileri temel alarak dinamik mevsimsel COP değişimlerini hesaplamayı ve bu bulguları güncel enerji piyasası

koşullarında konvansiyonel yoğunlaşmalı bir doğalgaz kombisiyle teorik olarak kıyaslamayı hedeflemektedir. Böylece, düşük besleme sıcaklığı avantajına sahip yerden ısıtma sistemlerinde havadan suya ısı pompalarının Türkiye konut enerji portföyündeki teknik ve ekonomik uygulanabilirliği, gerçek fatura ve endeks verileriyle doğrulanarak literatüre, araştırmacılara ve son kullanıcılara rehberlik edecek özgün bir saha analizi sunulmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Çalışma, Karabük Merkez Bulak Köyü'nde bulunan 130 m² genişliğinde, yerden ısıtma sistemine sahip tek katlı bir konutta yürütülmüştür. Konutun alan ısıtması ve 300 litrelik bir boyler tankı vasıtasıyla sağlanan evsel sıcak su (kullanım sıcak suyu) ihtiyacı, havadan suya bir ısı pompası sistemi ile karşılanmıştır. Sistemde ana termal güç kaynağı olarak Toshiba HWS-1404XWHM3TR1 model havadan suya ısı pompası (2.7 kW nominal iç ünite ve 3.0 kW dış ünite kapasiteli) entegre edilmiştir. Sistem mimarisinde ayrıca akışkan sirkülasyonunu sağlamak üzere 100 W gücünde bir sirkülasyon pompası ve tepe sıcak su yüklerini desteklemek adına boyler içerisine yerleştirilmiş 1.5 kW kapasiteli bir elektrikli daldırma ısıtıcı yer almaktadır. Sistemin detaylı teknik özellikleri Çizelge 1'de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Sistemin teknik özellikleri

Bileşen / Özellik	Teknik Değer
Isı Pompası Türü	Havadan Suya (Air-to-Water)
Marka ve Model	Toshiba HWS-1404XWHM3TR1
İç Ünite Gücü / Gerilimi	2.7 kW / 220V-230V, 50Hz
Dış Ünite Gücü / Gerilimi	3.0 kW / 220V-230V, 50Hz
Yardımcı Elemanlar	100W Sirkülasyon Pompası + 1.5 kW Entegre Boyler Isıtıcısı

2.1. Termodinamik Analiz

Saha çalışmasından elde edilen ham elektriksel tüketim verilerinin binanın gerçek termal yüklerine dönüştürülmesi ve geleneksel fosil yakıtlı (doğalgazlı) bir sistemle teorik olarak karşılaştırılması amacıyla belirli matematiksel denklemler ve parametrik kabuller kullanılmıştır.

Isı pompasının çektiği net elektriksel enerjiden, konutun ilgili ölçüm periyodu boyunca ihtiyaç duyduğu toplam faydalı termal enerjiyi (alan ısıtması ve boyler yükü) hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılabilir:

$$Q_{th} = E_{el} \times COP \quad (1)$$

Burada Q_{th} konutun toplam termal ısı ihtiyacını (kWh_thermal), E_{el} ısı pompası tarafından tüketilen net elektrik enerjisi miktarını (kWh_elektrik), COP ise sistemin Performans Katsayısını (Coefficient of Performance) temsil etmektedir. Mevsimsel dış ortam sıcaklık dalgalanmalarının sistem verimliliğine etkisini yansıtmak adına; çetin kış şartlarını içeren birinci dönem için ortalama COP değeri 3,0, dış ortam sıcaklığının yumuşadığı bahar dönemi için ise ortalama COP değeri 3,8 olarak literatür verileri doğrultusunda kabul edilmiştir (Madonna and Bazzocchi, 2013; Ruhnau et al., 2019).

Isı pompası tarafından sağlanan Q_{th} miktarındaki ısı enerjisinin, yüksek verimli konut tipi konvansiyonel bir doğalgaz kombisiyle karşılanması durumunda tüketilmesi gereken teorik doğalgaz hacmi (V_{dg}) Denklem 2 kullanılabilir:

$$V = \frac{Q}{H_u \times \eta} \quad (2)$$

Burada V_{dg} tüketilmesi öngörülen doğalgaz hacmini (m^3), H_u doğalgazın alt ısı değeri bu çalışmada Türkiye standartlarına uygun olarak 9,59 kWh/ m^3 alınmıştır (Aydın and Bıyıkoglu, 2019). η_{kombi} ise modern yoğuşmalı kombi sistemlerinin ortalama işletme verimidir ve bu değer %90- 98 aralığında alınabilir (Aydın and Bıyıkoglu, 2019; Hepbasli and Kalinci, 2009). İki farklı iklimlendirme teknolojisinin kullanma maliyetlerini yansımasını netleştirmek için sistemlerin dönemsel toplam işletme maliyetleri (C) Denklem 3 ve Denklem 4 ile hesaplanmıştır:

$$C_{ısıpomp} = E_{el} \times P_{el} \quad (3)$$

$$C_{doğalgaz} = V_{dg} \times P_{doğalgaz} \quad (4)$$

Burada $C_{ısıpomp}$ ve $C_{doğalgaz}$ sistemlerin toplam işletme maliyetlerini (TL), P_{el} dönemsel faturalarından filtre edilmiş net birim elektrik maliyetini (TL/kWh) ve $P_{doğalgaz}$ ise 2026 yılı Türkiye konut piyasası ortalama doğalgaz birim fiyatını (10,60 TL/ m^3) alınmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sistem performansını değerlendirmek amacıyla kış dönemi (26.01.2026-16.03.2026, 49 gün) ve bahar dönemi (16.03.2026- 22.05.2026, 67 gün) verileri resmi faturaları ve sayaç endeksleri vasıtasıyla incelenmiştir. Çizelge 2’de kış dönemi tüketim ve maliyet karşılaştırmaları verilmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde, kış şartlarında havadan suya ısı pompasının günlük ortalama 33,16 kWh elektrik tükettiği görülmektedir. Sadece evsel elektrik kullanımıyla kıyaslandığında ısı pompası, konutun enerji yükünü ciddi oranda artırmakla birlikte, sağladığı konfor ve sürekli sıcak su arzı (300 lt boyler) göz önüne alındığında ekonomik sınırlar içerisinde kalmıştır.

49 günlük çetin kış periyodunda, konutun tükettiği toplam elektrik enerjisinin (1625 kWh + 420 kWh = 2045 kWh bileşik bazda düşünüldüğünde) %79,5'i doğrudan ısı pompası tarafından tüketilmiştir. Bu durum, kış aylarında bir konutun enerji bütçesinin ezici bir çoğunluğunun iklimlendirme ve sıcak su (boyler) yüklerinden oluştuğunu göstermektedir. Literatürde soğuk iklim bölgelerinde yapılan benzer saha çalışmalarında, kış aylarında ısı pompası yükünün toplam hane enerji tüketimine oranının %75 - %83 aralığında değiştiği bildirilmektedir (Gram-Hanssen et al., 2012a; White et al., 2021a). Karabük ili kış şartlarında bu çalışmada elde ettiğimiz %79,5 değeri, literatürde raporlanan konut enerji dağılım profilleriyle tam bir uyum ve tutarlılık içerisinde.

Çizelge 2. Kış dönemi tüketim ve maliyet karşılaştırması

Parametre	Toplam Tüketim (kWh)	Fatura Tutarı (TL)	Günlük Ort. Tüketim (kWh/gün)
Genel Evsel Tüketim	420	2.620,00 TL	8,57
Isı Pompası Tüketim	1625	5.685,00 TL	33,16
Fark / Net Isıtma Maliyeti	1205	3.065,00 TL	24,59

Bahar dönemi tüketim ve maliyet karşılaştırmaları Çizelge 3’de verilmiştir. Çizelge 3 incelendiğinde, Mart-Mayıs aylarında havaların ısınmasıyla birlikte ısı pompasının toplam tüketimdeki payı %69,7’ye gerilemiştir. Günlük ortalama ısı pompası tüketimi kışın 33,164 kWh iken, baharda 21,338 kWh seviyesine düşmüştür. Dış ortam sıcaklığının artması ($> 10^{\circ}\text{C}$), havadan suya ısı pompalarında evaporatör üzerindeki ısı transferini artırır ve kompresörün sıkıştırma oranını düşürür. Literatürde, geçiş mevsimlerinde (transitional seasons) kaynak sıcaklığının yükselmesine bağlı olarak ısı pompası yükünün toplam hane enerji payı içerisindeki ağırlığının %65 - %70 bandına çekilmesini normal karşılamaktadır (Gram-Hanssen et al., 2012b; White et al., 2021b)[3, 4]; saha çalışmamızdan elde edilen %69,7’lik veri de bu termodinamik beklentiye ve mevsimsel performans katsayısı (SPF) değişimlerini birebir doğrulamaktadır. Bahar dönemine (Mart-Mayıs) geçildiğinde ise dış ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte kompresör yükü hafiflemiş ve günlük ortalama tüketim değerlerinin belirgin şekilde düştüğü fatura kayıtlarından doğrulanmıştır.

Çizelge 3. Bahar Dönemi Enerji ve Maliyet Dağılımı

Parametre	Toplam Tüketim (kWh)	Fatura Tutarı (TL)	Günlük Ort. Tüketim (kWh/gün)
Genel Evsel Tüketim	622	4.310,00 TL	9,286

Isı Pompası Tüketim	1430	5.740,00 TL	21,338
Fark / Net Isıtma Maliyeti	808	1.430,00 TL	12,052

Kış ve bahar dönemleri birleşik kümülâtif değerlendirilmesi Çizelge 4’te gösterilmiştir. Toplam 116 günlük ölçüm periyodu boyunca ısıtma ve boiler yükü, hane elektrik bütçesinin net %74,6’sını oluşturmuştur. Bu veri, yıllık simülasyonlarda geçiş dönemlerinin (bahar ayları) kış yükünü dengeleyici etkisini göstermektedir.

Çizelge 4. Kış ve Bahar Dönemleri Birleşik Kümülâtif Değerlendirilmesi

Parametre	Toplam Tüketim (kWh)	Fatura Tutarı (TL)	Günlük Ort. Tüketim (kWh/gün)
Genel Evsel Tüketim	1.042	6.930,00 TL	8,982
Isı Pompası Tüketim	3.055	11.425,00 TL	26,336
Fark / Net Isıtma Maliyeti	2.013	4.495,00 TL	17,353

Isı pompasının çektiği elektrik enerjisini kullanarak binaya gerçekte kazandırdığı termal enerjiyi (ısı ihtiyacını) denklem 1 ile hesaplanabilir.

Kış Dönemi Isı İhtiyacı: 1205 kWh 3,0 = 3615 kWh_{termal}

Bahar Dönemi Isı İhtiyacı: 808 kWh 3,8 = 3070,4 kWh_{termal}

Toplam Isı İhtiyacı (116 Gün): 6685,4 kWh_{termal}

Aynı ısı ihtiyacını doğalgaz kombisiyle karşılamak için gerekli doğalgaz hacmi denklem 2 ile hesaplanabilir.

$$V = \frac{Q}{H_u \times \eta} = \frac{6685,4 \text{ kWh}}{9,3 \text{ kWh/m}^3 \times 0,93} = 749,6 \text{ m}^3$$

Toplam Doğalgaz Maliyeti (2026 Tarifesiyle): 749,6 m³ x 10,6 TL/m³ = 7945,6 TL

Isı pompası ve doğalgaz kombisi ekonomik karşılaştırma sonuçları Çizelge 5’te gösterilmiştir. Deneysel saha verilerinden elde edilen bulgular, havadan suya ısı pompasının Karabük iklim şartlarında geleneksel doğalgazlı ısıtma sistemlerine karşı net bir ekonomik üstünlük sağladığını ortaya koymaktadır. 116 günlük toplam deneysel periyotta doğalgaz kombisiyle

ısıtma maliyeti 7.945,65 TL olarak hesaplanırken, mevcut ısı pompası sistemi aynı ısı konforu 4.495,00 TL cari gider ile sunmuştur. Bu bulgular doğrultusunda, havadan suya ısı pompası sistemi doğalgaza kıyasla %43,4 oranında net bir ekonomik tasarruf sağlamaktadır. Bu durum, özellikle yerden ısıtma sistemlerinin düşük besleme sıcaklığı avantajı ve bahar aylarında yükselen COP değerlerinin (3,8) birleşik bir sonucudur. Sonuç olarak yüksek ilk yatırım maliyetlerine rağmen havadan suya ısı pompaları karbon salınımını azaltma vizyonunun yanı sıra cari işletme giderleri açısından da Türkiye enerji piyasası koşullarında sürdürülebilir ve rekabetçi bir alternatif olduğunu kanıtlamıştır.

Çizelge 5. Isı Pompası ve Doğalgaz Kombisi Ekonomik Karşılaştırması

Isıtma Sistemi	Toplam Isı Arzı (kWh _{th})	Tüketilen Enerji Kaynağı	Günlük Ort. Tüketim (kWh/gün)
Toshiba Isı Pompası (Mevcut)	6.685,4	2.013 kWh Elektrik	4495,00 TL
Doğalgaz Kombisi (Teorik)	6.685,4	773 m ³ Doğalgaz	7945,6 TL
Ekonomik Kazanç (Isı Pompası)			3450,65 TL (Tasarruf)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Karabük Merkez Bulak Köyü lokasyonunda yer alan 130 m² alttan ısıtmalı müstakil bir konutta havadan suya bir ısı pompasının 26 Ocak – 22 Mayıs 2026 tarihleri arasındaki 116 günlük gerçek işletme periyodu boyunca teknik ve ekonomik performansı deneysel saha verileriyle incelenmiş ve konvansiyonel yoğunmalı bir doğalgaz kombisiyle teorik olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen dinamik saha bulguları ve termodinamik analizler neticesinde sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Zorlu kış şartlarını kapsayan 49 günlük birinci periyotta, konutun iklimlendirme ve sıcak su yükleri hane toplam enerji bütçesinin %79,5'ini oluşturmuştur. Dış ortam sıcaklığının yumuşadığı 67 günlük bahar döneminde ise bu oran %69,7 seviyesine gerilemiştir. Toplam 116 günlük kümülatif süreçte ise ısıtma ve entegre boyler yükünün, toplam enerji sarfıyatı içerisindeki ağırlığı %74,6 olarak tespit edilmiştir. Bu bulgu, geçiş mevsimlerinin yıllık hane baz yükü üzerindeki dengeleyici etkisini kanıtlamaktadır.

Saha verilerinden hareketle yapılan hesaplamalarda, konutun 116 gün boyunca ihtiyaç duyduğu toplam faydalı termal enerji miktarı 6.685,4 kWh_{th} olarak belirlenmiştir. Söz konusu termal ısı ihtiyacının %93 verim spektrumuna sahip modern bir doğalgaz kombisiyle karşılanması durumunda teorik olarak 749,59 m³ doğalgaz tüketileceği ve güncel piyasa koşullarında bunun haneye 7.945,65 TL cari işletme maliyeti getireceği hesaplanmıştır. Buna karşın, mevcut havadan suya ısı pompası sistemi aynı ısı konfor ve kullanım sıcak suyu arzını net 4.495,00 TL elektrik faturası bedeliyle karşılamıştır. Sonuç olarak havadan suya ısı pompası sistemi, doğalgaz kombisine kıyasla %43,4 oranında net bir ekonomik kazanç sağlamıştır.

KAYNAKÇA

- Altun, İ., & Onat, A. (2025). Havadan suya ısı pompasının farklı ortam şartlarında enerji verimliliği açısından analizi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 37(3), 369–377. <https://doi.org/10.7240/jeps.1623685>
- Büyükzeren, R. (2022). Güneş enerjisi destekli hava kaynaklı sıcak su ısı pompasının enerji-ekonomik analizinin deneysel ve teorik incelenmesi [Doktora tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi].
- Konrad, M. E., & MacDonald, B. D. (2023). Cold climate air source heat pumps: Industry progress and thermodynamic analysis of market-available residential units. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 188, 113739. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113739>
- Leonzio, G., Fennell, P. S., & Shah, N. (2023). Air-source heat pumps for water heating at a high temperature: State of the art. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 54, 102866. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102866>
- Özdemir, M., & Onat, A. (2022). Isı pompası sistemleri ve örnek bir uygulama. A. Güllü, R. Jain ve S. Yalçinkaya (Ed.), *Teknolojik gelişmeler ve mühendislik uygulamaları içinde* (ss. 202–250). Güven Plus Grup A.Ş. Yayınları.
- Wilson, E. J. H., Munankarmi, P., Less, B. D., Reyna, J. L., & Rothgeb, S. (2024). Heat pumps for all? Distributions of the costs and benefits of residential air-source heat pumps in the United States. *Joule*, 8(4), 1000–1035. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.01.022>
- Yılmaz, F., Gürel, A. Ç., & Akdemir, Ö. (2023). Bir villanın ısı pompası ile ısıtılmasının performans ve çevresel incelenmesi. *Mühendis ve Makina*, 64(710), 114–136. <https://doi.org/10.46399/muhendismakina.1175048>
- Aydın, N., Bıyıkoglu, A., 2019. Türkiye’de Konut Tipi Binaların Isıtma Yüğü Altında Ömür Maliyet Analizi Yöntemi ile Optimum Yalıtım Kalınlıklarının Belirlenmesi. *Politeknik Dergisi* 22, 901–911. <https://doi.org/10.2339/politeknik.435773>
- Gram-Hanssen, K., Christensen, T.H., Petersen, P.E., 2012a. Air-to-air heat pumps in real-life use: Are potential savings achieved or are they transformed into increased comfort? *Energy and Buildings* 53, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.023>

Gram-Hanssen, K., Christensen, T.H., Petersen, P.E., 2012b. Air-to-air heat pumps in real-life use: Are potential savings achieved or are they transformed into increased comfort? *Energy and Buildings* 53, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.06.023>

Hepbasli, A., Kalinci, Y., 2009. A review of heat pump water heating systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, 1211–1229. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.08.002>

Madonna, F., Bazzocchi, F., 2013. Annual performances of reversible air-to-water heat pumps in small residential buildings. *Energy and Buildings* 65, 299–309. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.06.016>

Ruhnau, O., Hirth, L., Praktiknjo, A., 2019. Time series of heat demand and heat pump efficiency for energy system modeling. *Sci Data* 6, 189. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0199-y>

White, P.R., Rhodes, J.D., Wilson, E.J.H., Webber, M.E., 2021a. Quantifying the impact of residential space heating electrification on the Texas electric grid. *Applied Energy* 298, 117113. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117113>

White, P.R., Rhodes, J.D., Wilson, E.J.H., Webber, M.E., 2021b. Quantifying the impact of residential space heating electrification on the Texas electric grid. *Applied Energy* 298, 117113. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117113>

LMS ALGORİTMASI İLE MIMO SİSTEMDE DİNAMİK AKIŞ KONTROLÜ

Ergin Özkara

E.C.A. Valfsel Armatür Sanayi A.Ş.,
erginozkara@gmail.com- 0009-0007-2471-754X

Doç. Dr. İlhan Bastürk

Manisa Celal Bayar Üniversitesi,
ilhan.basturk@cbu.edu.tr- 0000-0003-1869-6010

ÖZET

Su, insan vücudunun temel bileşeni olup yaşamsal işlevlerin sürdürülmesi için her koşulda düzenli ve yeterli biçimde sağlanması gerekmektedir. Sanayi tesislerinde soğutma ve proses ısıtma, konutlarda ise banyo ve mutfak kullanımı gibi alanlarda sıcak-soğuk su karışımının belirli debi ve sıcaklık değerlerinde tutulması hem konfor hem de enerji tasarrufu açısından önem taşımaktadır. Geleneksel mekanik kartuş ve termostatlı yapılar su kaynağındaki basınç ve sıcaklık değişimlerine anlık tepki veremediğinden çıkıştaki dalgalanmaların önüne geçilememektedir. Bu tür sistemlerde debi ve sıcaklık birbirini etkileyen iki çıkış değişkeni oluşturduğundan kontrol problemi doğası gereği çok girişli çok çıkışlı bir yapı taşımakta ve klasik tek döngülü kontrol yaklaşımları yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada LMS (en küçük kareler ortalaması) algoritması, skaler filtre katsayısı güncelleme yapısından çıkarılarak servo motor açma komutlarını güncelleyen iki katmanlı bir MIMO kontrol mimarisine genişletilmiştir. Debi ve sıcaklık hataları bağımsız LMS bileşenlerinde işlenmekte; bileşen çıktıları her kontrol periyodunda dinamik olarak yeniden hesaplanan katsayılarla sahip 2×2 bir ayrıştırma matrisiyle servo motorlara uygulanmaktadır. Döngüler arası etkileşim, sabit bir analitik model yerine servo motorun anlık açma-debi kazançlarından türetilen dinamik bir karışım telafi katsayısıyla baskılanmaktadır. Boru hattındaki sıcaklık aktarım gecikmesi ise debiye bağlı bir kalman öngörü mekanizmasıyla telafi edilmektedir. Geliştirilen sistem gerçek bir ESP32 tabanlı donanım düzeneği üzerinde üç farklı debi ve iki farklı sıcaklık seviyesinden oluşan altı çalışma noktasında, her noktada beş bağımsız tekrarlı test edilmiştir. Debi doğruluğu %95,2 ile %99,8, sıcaklık doğruluğu ise %95,3 ile %99,9 arasında elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: LMS algoritması, MIMO kontrol, adaptif kontrol, akış kontrolü, su karışım sistemi

**DETERMINATION OF POZZOLANIC ACTIVITY OF BRICK AND AERATED
CONCRETE WASTES USING THE FRATTINI TEST**

Dr. Mine KURTAY YILDIZ

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

E-posta Adresi: miney@sakarya.edu.tr

ORCID ID: 0000-0003-4629-3198

ABSTRACT

This study aimed to experimentally investigate the pozzolanic activity of brick waste and aerated concrete waste, which are widely used in the construction industry, using the Frattini method. The experiments were conducted in accordance with TS EN 196-5, and the samples were evaluated after curing periods of 8 and 15 days. In the Frattini test, the solution's calcium ion concentration and alkalinity were determined, and the results were compared with the calcium hydroxide saturation curve. The findings indicated that both brick waste and aerated concrete waste plotted below the saturation curve at both curing ages, thereby confirming their pozzolanic behavior. This demonstrates that these materials can consume calcium hydroxide over time and, therefore, can be used as mineral additives in binder systems. The results suggest that brick and aerated concrete waste can be considered sustainable and environmentally friendly alternative materials for use in cement-based and alkali-activated binder systems.

Keywords : Brick waste, aerated concrete waste, Frattini Test.

HETEROJEN YEREL GEOTEKNİK ETÜT RAPORLARINDAN MAKİNE ÖĞRENMESİNE UYGUN SPT-N VERİ SETİ OLUŞTURULMASI: ORTAK ŞEMA VE KALİTE KONTROLÜ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Yiğitcan Boşnak

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
yigitcan.bosnak@fbe.karaelmas.edu.tr – 0009-0004-3144-4146

Dr. Öğr. Üyesi, Emrah Dağlı

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü
emrahdagli@beun.edu.tr – 0000-0002-5744-8151

ÖZET

Heterojen geoteknik etüt raporları; projeler bazında farklı adlandırma alışkanlıkları, farklı birim kullanımları, veri eksiklikleri ve yapılandırılmamış raporlama biçimleri nedeniyle doğrudan makine öğrenmesi süreçlerinde kullanıma uygun olmayabilmektedir. Bu çalışmanın amacı, söz konusu farklılıkları içeren yerel rapor kayıtlarını ortak ve izlenebilir bir standart penetrasyon deneyi (SPT-N) veri şemasına dönüştürmektir. Veri kaynağını, farklı mühendislik firmalarınca sağlanan 25 geoteknik etüt raporundan derlenen kayıtlar oluşturmuştur. Yöntem kapsamında ortak şema dönüşümü, ad ve birim standardizasyonu ile tekrar kayıtların tekilleştirilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Ardından eksik ve uyumsuz kayıtlar kontrol edilmiş; kesin sayısal hedef niteliği taşımayan sağdan sansürlü refü gözlemleri ile diğer sayısal olmayan hedefler ayrılmış ve veriler model uygunluk filtresinden geçirilmiştir. Dışarıda bırakılan kayıtlar topluca hatalı, yanlış ölçüm ya da aykırı değer olarak sınıflandırılmamıştır. Veri akışına 934 ham kayıtla başlanmış, kalite kontrolü sonrasında 711 kayıt elde edilmiş ve modellemeye uygun 393 kayıtlık standart bir şemaya ulaşılmıştır. Sonuçlar, ham rapor kayıtlarının tamamının doğrudan modellemeye uygun olmadığını ve uygulanan şeffaf, yeniden izlenebilir kalite kontrol sürecinin sonraki tahmin analizleri için tutarlı bir yerel veri altyapısı sağladığını göstermektedir¹.

Anahtar Kelimeler : Geoteknik etüt, standart penetrasyon deneyi, makine öğrenmesi, veri ön işleme, kalite kontrolü.

1. GİRİŞ

Geoteknik projelerde veriler genellikle sondaj logları, yapılandırılmamış dijital dosya, raporlar ve çeşitli çizelgeler ile saklanmaktadır. Bu yapıyı ele alan saklama biçimlerinde makine öğrenmesi için dezavantajlar içererek veri yapısının kurulması ve bir sonraki aşamaları için kullan zorluğu problemleri ile karşılaşmaktadır (Alzighaibi ve Daghistani 2025). Yapılandırılmamış kayıtların entegrasyon uygulamaları için açık ve standartlaştırılmış olası bilgi kayıplarını önlemeyi amaçlar (Halfon ve Beaufils 2024). Verilerin bu dönüştürülme süreci

¹ Yüksek Lisans Tezi (2026), Zonguldak Bölgesine Ait Geoteknik Verilerin Açıklanabilir Makine Öğrenmesi Yaklaşımları ile Analizi ve SPT-N Tahmini, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2026, Yayınlanmamış

saha sorunlarını tamamen çözme de veri yönetiminin saf bir şekilde dijitalleşmesi algoritma ihtiyacını destekleyerek önemli bir adım atılmaktadır.

Geoteknik veriler, eksik, heterojen ve değişken özellikler göstermesinin sebepleri arasında deney uygulamaları, farklı saha ortam koşulları ve raporlama süreçleri doğrudan etkimektedir. Bu durumu açıklamak adına MUSIC-X veya MUSIC-3X yani belirsiz, uzamsal değişkenle bozulan yapı, çok değişkenli ve seyrek ifadeleri kullanılmaktadır (Phoon ve Zhang 2023). Bu veriler genellikle saha kayıtlarında görülen mevcut olarak düzensizliği ifade edilen problemleri veri olarak isimlendirilmektedir. Sonuç olarak, analitik süreçler ele alındığında verimliliği etkilemektedir.

Heterojen sorunların azaltılması ve veri kalitesinin artması için yapısal veri standardı ile ortak veri şemalarına olan ihtiyaç artmıştır (Sheil vd. 2026). Bu işlemler verilerin yeniden modele ve kullanıma uygun olarak yapılandırılmasını desteklemektedir (Cadden ve Keelor 2017). Projelerin farklı özellikler ve saha koşullarında birbirinden bağımsız sonuçların belirli bir standart çerçevesinde ele alınması farklı projelerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması adına önem arz etmektedir (Halfon ve Beaufils 2024). Bu sayede, veri odaklı analizler, tutarlı şemalar ve izlenebilir gözlemler adına kritik bir rol oynamaktadır (Sheil vd. 2026).

SPT-N, makine öğrenmesi alanında geoteknik çalışmalar ile birlikte giderek sıklıkla kullanılan bir tahmin aracı olma yolunda ilerlemektedir (Han vd. 2025). Verilerin doğrudan kullanılması tahmin performansını olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada heterojen geoteknik etüt rapor kayıtları ele alınmış, analize uygun alt küme tanımlanması için ortak ve izlenebilir SPT-N veri şeması dönüştürülmesi hedeflenmiştir.

2.1. Veri kapsamı ve gözlem birimi

Çalışma yerel projeler kapsamında 25 farklı geoteknik etüt raporu veri kaynağı olarak ele alınmıştır. Bu veri kaynağı laboratuvar ve saha raporlarından derlenmiştir. Bu veri kaynağını elde eden farklı firmalar, birim farklılıkları, standart dışı adlandırma ve değişken raporlama alışkanlığı ile birbirinden ayrılmaktadır. Bu raporlar ele alındığında veri havuzumuzun 934 ham kayıttan oluştuğu görülmüştür. Ham kayıtlar direkt modele verilmeye uygun olmadığından, gözlem birimlerinin ve yapılarının isimlendirilmesi ve tanımlanması gerekmektedir. Bu yapılmadığı durumlarda algoritma analiz sürecine dahil edilemez ve doğrudan entegre edilemez haldedir.

Bu sebeple elde edilen ilk veri havuzundaki her bir veri satırı, tekil fiziksel gözlem düzeyi olarak kabul edilmiştir. Bu tekil gözlem birimi, arazide yapılan SPT-N deneyleri o derinlikteki temel zemin tanımlamalarını ele alır; ayrıca o seviyeden varsa laboratuvar test sonuçlarını aynı satırda birleştiren yatay bir vektör oluşturur. Veriler dönüştürülürken, proje, rapor ve sondaj kuyusu verileri saklanmıştır. Böylelikle raporlar arasında izlenebilirlik ve geriye dönük takip edilebilirlik sağlanmıştır.

2.2. Ortak veri şeması

Geoteknik etüt raporları daha detaylı olarak ele alındığında, verilerin kişisel raporlama ve isimlendirme yapıldığı görülmüştür. Farklı raporlar ile birleştğinde dağınık bir yapıda olduğu dikkat çekmektedir. Bu karmaşıklığı normalleştirmek adına birim temsilleri, farklı alan adları ve metinsel kategorik ifadeler ortak bir veri yapısında bir araya getirilmiştir. Veri yapısının düzenli hale getirilmesi bilgiler arası kontrolü ve izlenebilirliği sağlamakla beraber kullanımı da büyük ölçekte kolaylaştırmıştır (Cadden ve Keelor 2017). Sonuç olarak, farklı saha verilerindeki etüt raporlarının karşılaştırılması ve performans değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır.

Veri şeması incelendiğinde zemin özellikleri ve sahadaki yeraltı koşullarında temel alanların korunması hedeflenmiştir. SPT-N, uluslararası geçerliliğe sahip yaygın ve köklü bir arazi testidir (ISO 22476-3 2005). Hazırlanan şema tanımlayıcı, fiziksel ve indekse dayalı olarak elde edilmiştir. Bu şemada Ham SPT-N, derinlik, litoloji, likit limit, malzeme türü, plastik limit, USCS sınıfı, plastisite indisi, ince dane oranı ve doğal su içeriği incelenmiştir. Şema kurgusunda kot bilgileri ve fiziksel konumun bağımsız alan yapısı özenle korunmuştur. Korunan bu yapılar bağımsız sütunlarda konum ve derinlik bilgileriyle beraber değerlendirme yapılırken katkı sağlayabileceği düşünülmektedir (Civelekler ve Pekkan 2022).

Şemada önemli olan bir diğer husus ise penetrasyon direnç yapısının korunmasıdır. Bu konudaki literatür çalışması ele alındığında, tij uzunluğu ve tokmak tipi gibi ölçüm çeşitleri değerlendirmesi yapılırken farklılıklar oluşturabilmekte, ayrıca SPT sonuçlarındaki standardizasyona da büyük bir etki edebileceği görülmüştür (Cetin vd. 2023). Bu hususların tamamına hassas bir yaklaşım içerisinde sonuç veri şeması elde edilmiştir. SPT-N değerleri bu şema yapısı içerisinde ham ve ayıklanmış olarak ikiye ayrılarak birbirlerinden bağımsız alanda tutularak algoritmanın doğrudan saha verilerinde ulaşarak şeffaf ve yapılandırılmış altyapı sağlanmıştır.

Geoteknik tasarımlarda, sondaj raporlarından elde edilen veriler esas alınmaktadır. Çizelge 1’de verilen temel değişkenler zemin mekaniğine yönelik hesaplamalarda kullanılmaktadır. Verilerin kategorize edilmesi bu noktada önemli bir husustur.

Çizelge 1. Ortak veri şemasında yer alan temel değişkenler

Değişken grubu	Alan adı	Veri türü	Birim/biçim	Veri yapısındaki işlevi
Konum ve Derinlik	Derinlik	Sayısal	m	Gözlemin fiziksel olarak yapıldığı seviyeyi belirtir.
Zemin Tanımlama	Malzeme türü	Kategorik	Metin	Temel zemin cinsinin genel sınıflandırmasıdır.
Zemin Tanımlama	USCS sınıfı	Kategorik	Metin	Standartlaştırılmış zemin grup sembolüdür.
Zemin Tanımlama	Litoloji	Kategorik	Metin	Jeolojik veya yerel katman birimini tanımlar.

Laboratuvar	Doğal su içeriği	Sayısal	%	Zeminin test anındaki mevcut su muhtevasıdır.
Laboratuvar	İnce dane oranı	Sayısal	%	Silt ve kil boyutundaki ince malzemenin yüzdesidir.
Laboratuvar	Likit limit	Sayısal	%	Plastik durumdan likit duruma geçiş sınırıdır.
Laboratuvar	Plastik limit	Sayısal	%	Yarı katı durumdan plastik duruma geçiş sınırıdır.
Laboratuvar	Plastisite indisi	Sayısal	%	Zeminin plastik özellik gösterdiği su içeriği aralığıdır.
SPT	Ham SPT-N	Sayısal	Darbe/30 cm	Arazide kaydedilen standart penetrasyon direncidir.

2.3. Veri Kalite Kontrolü

Ortak bir biçimde standart hale getirilen veri yapısında analitik süreçler için kalite kontrol adımları gerekli hale gelmiştir. Öncelikle karmaşık değerler sayısal biçimlere dönüştürülmüştür. Bu aşama yapılırken ise serbest metin olarak girilen karmaşık değerler, ölçüm birimleri ve farklı alan adları ile işlem yapılmıştır. Ayrıca metinsel ifadelerdeki farklılıklar çözülerek kategorisel olarak ortak bir çalışma alanı oluşturulmuştur. Makine öğrenmesi öncesi bu ön işlem adımlarının uygulanması literatürde de karşımıza çıkmaktadır (Suliman vd. 2026).

Tutarlı ve kapsamlı bir yapı elde edilme işlemleri bu düzenlemelerin tamamlanmasıyla elde edilmiştir. İşlemler yapılırken ise birden çok benzer ifadeler tekilleştirilmiştir. Uygulanan tutarlılık denetimi, alan ve birim ortaklaştırılması, veri temizleme, sayısal biçim dönüştürme ve ortak şema yapılandırması ham veriler üzerinde azalma etkisi göstermiştir. Azalan değerlerin tamamının aykırı, hatalı ve silinen işlem olarak görülmesi uygun değildir.

Bu, bir kalite kontrol işleminden geçen ham verilerin kullanıma en uygun değerleri ele almasıyla beraber ortak bir uygunluğa gelmesini sağlamıştır. Son olarak, verilerin SPT-N ile uygunluğu kontrol edilerek son verilerin elde edilmesi hedeflenmiştir.

2.4. SPT-N Analiz Uygunluğu Ölçütleri

Bu aşamada, sayısal olarak hedeflenen alt kümelerin oluşturulması ve sadece analiz için kullanılacak verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Hedef değişken olan SPT-N, metinsel ve boşluklu mevcut olan kayıtlar için ayrıştırılmıştır. İşlemler sırasında sınır hedefleri de kesin bir

bulgu sonucu oluşturmadıkları için kapsam dışında bırakılmıştır. Bu tarz filtreleme uygulamaları literatürde de mevcuttur (Mbarak vd. 2020). Son olarak uygulanan bu yöntemler ile dikkat edilecek hassas noktalar korunmuş, özellikler ve SPT-N için uygun alt kümeler elde edilmiştir. Bu kapsamda verinin kalite kontrolü ve SPT-N analizlerine uygunluğunun test edildiği aşamalar Çizelge 2’de sunulmuştur.

Çizelge 2. Veri kalite kontrolü ve SPT-N analiz uygunluğu adımları

Aşama	Kontrol edilen durum	Uygulanan işlem/karar	Veri yapısındaki karşılığı
Ortak şemaya dönüşüm	Farklı raporlardaki bağımsız ve yapılandırılmamış formatlar	Kayıtların ortak tablo formatına aktarılması	Dağınık verilerin tek bir şema altında birleştirilmesi
Alan adı ve birim uyumu	Projelere göre değişen sütun adları ve ölçüm birimleri	Ortak adlandırma ve birim dönüştürme yapılması	Tüm değişkenlerin aynı ad ve birimle ifade edilmesi
Sayısal biçim kontrolü	Sayısal olması beklenen alanlara girilmiş metinsel karakterler	Tutarsız girişlerin standart sayısal formata çevrilmesi	Sayısal işlemler için tutarlı veri tipinin sağlanması
Kategori uyumu	Zemin ve litoloji tanımlamalarındaki yazım farklılıkları	Sınıflandırma ve yazım denetimi yapılması	Kategorik değişkenlerdeki ifade karmaşasının giderilmesi
Tutarlılık denetimi	Fiziksel ve yönlemsel olarak tutarsız görünen özellikler	Kapsam dışı bırakılması gereken durumların ayrılması	Veri tutarlılığının standart bir düzeye taşınması
Tekilleştirme	Aynı fiziksel gözlemi temsil eden mükerrer veriler	Tekrar eden kayıtların havuzdan arındırılması	Veri setinde tekil fiziksel gözlem düzeyinin korunması
SPT hedef türü kontrolü	Boş, metinsel veya refü niteliğindeki sınır hedefleri	Kesin sayısal bir ölçüm değeri sunmayan kayıtların ayrılması	Hedef değişkenin nicel regresyon işlemleri için netleşmesi
Analiz uygunluğu değerlendirmesi	Gerekli asgari girdi koşullarının varlığı	Analiz koşullarını karşılamayan kayıtların dışarıda bırakılması	İşlemlerin yürütüleceği nihai analiz alt kümesinin tanımlanması

3.1. Veri Akışı

Çalışma 25 adet geoteknik etüt raporunu kapsamaktadır. Bir önceki bölümlerde ham veriler ortak veri şeması için standart hale getirilmiş ve kalite kontrolleri sonrasında ortak bir yapı oluşturulmuştur. Bunlar sonucunda 934 adet ham veri, birinci işlem adımlarından sonra 711

adet ham veri yapısı olarak güncellenmiştir. Veri temizleme, tekilleştirme, yapılandırma ve tutarlılık kontrolleri sonrasında bu veriler ikinci bir işlem aşamasına geçmektedir. Bu aşamada nicel gereksinimler ele alınmıştır. Dolayısıyla SPT-N analizi için en sonda 393 adet veri oluşmuştur. Bu veriler ise beklenen tüm özellik şartlarını sağlamakla beraber analiz uygunluğu için beklenen kriterleri sağlamaktadır. Bu sayede doğrudan 711 adet veriden elde edildiği için yüksek performans beklentisi içerisinde bir alt küme oluşturmuştur. Görsel 1’de bu yapının raporlardan ham kayda girişi ile analiz alt kümesine gelene kadar oluşan süreç özetlenmiştir.



393 kayıt, 711 kayıtlık ortak veri yapısının alt kümesidir.

Görsel 1. Yerel geoteknik etüt raporlarından SPT-N analiz alt kümesine veri akışı

3.2. Ortak Şemanın Sağladığı Yapı ve Sınırlılıklar

Elde edilen ortak şema yapısında birçok farklı raporun hem saha koşulları farklılıkları hem de raporların kişisel olarak aktarımı sebebiyle farklılaşan veri setinin doğrulanması, modele uygunluğu ve birbiriyle karşılaştırılmaya uygun hale getirilerek performansının değerlendirilmesi açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu şekilde elde edilen yapılar için ortak bir şema oluşturulması farklı sistemlerin ele alınmasına da olanak tanımaktadır (Cadden ve Keelor 2017). Ortak şema ele alındığında belirli bir standart içerisinde yer alan veriler ileriye dönük gelecek çalışmalar içinde ileri mühendislik değerlendirilmesinde izlenebilir bir bulgu oluşturmaktadır (Sheil vd. 2026; Halfon ve Beaufils 2024). Dolayısıyla bu yapının ileriye dönük incelenme ihtimalinin yanı sıra geçmişe dönük raporların, kaynakların ve projelerin korunması ve ortak bir yapının elde edilmesiyle de geçmişe dönük sonuçların süreci izlenebilir hale getirilmesine olanak sağladığı unutulmamalıdır.

Veri setinin sınırlılıkları ele alındığında, son işlemler sonucu 393 adet ham veri analiz edilen alt küme olarak bulunmuştur. Dışarıda kalan diğer ham verilerin, istenmeyen ve/veya hatalı olduğu çıkarımında bulunulamaz. Bu yapının performansının artırılması amacıyla elde edilen verilerin çoğunda laboratuvar bulgu sonuçları da yer almaktadır. Bazı bulguların laboratuvar çıktısı bulunamamakla beraber modelin veri yapısı ve kalite kontrolü model performansında

test edilmemiştir. Sonuç olarak bu sınırların genel değerleri bir sonraki bölümde açıklanmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Genel değerlendirme ele alındığında, belirlenen sınırlar ve kazanımlar çerçevesinde oluşan bulgular bir standardın oluşturulmasına olanak sağlamıştır. 25 farklı geoteknik etüt raporu incelendiğinde, ilk olarak toplamda bizi 934 adet ham veri karşılamaktadır. İlk olarak farklı saha detayları ve kişisel biçimlendirme (birim açısından) ve anlamlandırma raporları ele alınarak ortak şema ve kalite standardında bir yapı oluşturularak 711 adet veri elde edilmiştir. Daha sonra kesin sayısal sonuçlara ulaşmak için SPT-N koşulları devreye girerek toplamda laboratuvar sonuçları ile desteklenen 393 adet veri ortaya çıkmaktadır. Bu veri standartları en baştaki 934 adet ham verinin analiz alt kümesinden elde edilmiştir.

Bu çalışmanın temel katkısı farklı raporlarının makine öğrenmesi öncesinde ortak bir veri şeması oluşturulması adına süzgeçten geçirilmesini kapsamaktadır. Analiz uygunlukları, veri kalitesi ve yeniden yapılandırma sayesinde algoritma yeni bir yaklaşım barındırmamakla beraber yalnızca birbirinden farklı raporların değerlendirilmesi ve performanslarının karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Sonuç olarak, bu süreç makine öğrenmesi öncesinde elde edilen sonuçların model performansının sağlıklı bir şekilde elde edilmesini hedeflemektedir. Gelecekteki çalışmalar adına veri seti sınırlarının sadece 25 adet raporun dışına çıkarılarak ve laboratuvar verilerinin tamamı dahil edilerek yapılması, yeni etüt raporlarıyla makine öğrenmesi öncesinde ham verilerin elde edilmesindeki analizlerin kullanılarak model performansının değerlendirilmesi tutarlı ve somut biçimde veri altyapısı güçlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Alzighaibi, W. A. ve Daghistani, F. (2025). Machine Learning in Geotechnical Engineering: A State-of-the-art Review of Research Progress and Barriers to Real-World Implementation. 2025 IEEE International Conference on Emerging Trends in Engineering and Computing (ETECOM), Riffa, Bahrain. <https://doi.org/10.1109/ETECOM66111.2025.11319124>

Cadden, A. ve Keelor, B. (2017). Implementation and Transition of Data Interchange for Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (DIGGS v2.0). Final Report. Geo-Institute of ASCE, Ohio Department of Transportation.

Cetin, K. O., Cevik, M. E., Al-Suhaily, A. ve Yunatci, A. A. (2023). Probabilistic Assessment of Standard Penetration Test Hammer Energy Efficiency and Rod Length Corrections. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 149(8), 04023055. <https://doi.org/10.1061/JGGEFK.GTENG-11136>

Civelekler, E. ve Pekkan, E. (2022). The application of GIS in visualization of geotechnical data (SPT-Soil Properties): a case study in Eskisehir-Tepebaşı, Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(3), 302-313. <https://doi.org/10.26833/ijeg.980611>

Halfon, I. ve Beaufils, M. (2024). Towards an open geotechnical data platform in France. *Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024*, 3497–3502.

Han, X., Yi, J., Li, X., Li, S., Tang, H., Wang, Z. ve Ran, J. (2025). Application of extreme gradient boosting for predicting standard penetration test N-values from cone penetration test data. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 84, 196. <https://doi.org/10.1007/s10064-025-04219-w>

International Organization for Standardization. (2005). ISO 22476-3:2005. Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 3: Standard penetration test.

Mbarak, W. K., Cinicioglu, E. N. ve Cinicioglu, O. (2020). SPT based determination of undrained shear strength: Regression models and machine learning. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 14(1), 185-198. <https://doi.org/10.1007/s11709-019-0591-x>

Phoon, K. K. ve Zhang, W. (2023). Future of machine learning in geotechnics. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 17(1), 7–22. <https://doi.org/10.1080/17499518.2022.2087884>

Sheil, B., Anagnostopoulos, C., Buckley, R., Ciantia, M. O., Febrianto, E., Fu, J., Gao, Z., Geng, X., Gong, B., Hanley, K., He, P., Kolomvatsos, K., Lopes, B. C. F. L., Ninic, J., Previtali, M., Rezanian, M., Ruiz-Lopez, A., Sun, J., Suryasentana, S., Taborda, D., Utili, S., Whyte, S. ve Zhang, P. (2026). Artificial intelligence transformations in geotechnics: progress, challenges and future enablers. *Computers and Geotechnics*, 189, 107604. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2025.107604>

Suliman, M., Khan, M., Rind, T. A., Ullah, F., Khan, S. ve Mahmood, Z. (2026). Prediction of soil shear strength using hybrid machine learning approaches for performance and interpretability analysis. *Scientific Reports*, advance online publication. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-57764-z>

ÇOKLU BÖLÜNTÜLÜ MİKRO KANAL ISI EMİCİLERİN HİDROTHERMAL PERFORMANSLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Doç. Dr. Yeliz Alnak

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Teknoloji Fakültesi/İmalat Mühendisliği Bölümü
Sivas/Türkiye
ytas@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4383-3806

Prof. Dr. Koray Karabulut

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/
Elektrik ve Enerji Bölümü
Sivas/Türkiye
kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-5680-0988

ÖZET

Mükemmel taşınım ısı transferi ve düşük basınç kaybı özellikleri ile kullanıldıkları cihazlarda yüksek ısı akısı miktarını azaltıp; sıcaklıklarını güvenli sınırlar içerisinde tutabilen mikro kanal ısı emiciler (MKIE), hidrotermal performansın iyileştirilmesi için son derece etkili bir çözümdür. Bu ısı emicilerin hidrotermal performanslarının iyileştirilmesi, yüksek ısı transferi gereksinimlerinin karşılanması için bir gerekliliktir. Bu çalışmada, sayısal olarak mikro kanal ısı emicilerinde çoklu bölüntülü akış kanalı yapısının, mikro kanallı ısı emici modelleri göz önünde bulundurularak ısı transferi ve basınç kaybı miktarları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Sayısal inceleme, üç boyutlu, sürekli ve laminar akış şartlarında süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Çalışmada soğutucu akışkan olarak 300 K kanal giriş sıcaklığında sıkıştırılamaz özellikte su ve %2 hacimsel konsantrasyona sahip SiO₂-su nanoakışkanı kullanılmıştır. Değerlendirilen iki farklı MKIE modelinden örnek model olan Model 1 ile farklı çoklu bölüntülü akış kanallarına sahip yenilikçi bir model olan Model 2 karşılaştırılarak performansları iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bakır plakadan oluşan MKIE'nin tabanına 20.000 W/m² olarak belirlenen sabit bir ısı akısı uygulanırken, soğutucu akışkan olarak kullanılan su ve SiO₂-su nanoakışkanının kanala giriş akış hızları 0,002 kg/s ile 0,0045 kg/s arasında 0,0005 kg/s'lik artışlarla değişmektedir. Bakır ısı emici plakanın üst ve yan kısımları yalıtılmış olup yalnızca alt kısmından sabit bir ısı akısı uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları bulunmuştur. Sonuçlar, 0,0025 kg/s akış hızında Model 1 için su akışkanı kullanıldığında Nu_{ort} değerinin SiO₂-su nanoakışkanına göre %3,55 daha fazla olduğunu kanıtlamaktadır. Bunun yanı sıra, 0,0045 kg/s akış hızı değerinde SiO₂-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değeri, Model 1'den %34,76 daha yüksek olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikro kanal ısı emici, Isı transferi, Bölüntülü kanal, SiO₂-su nanoakışkanı

EVALUATION OF THE HYDROTHERMAL PERFORMANCE OF MULTI-PARTITIONED MICRO-CHANNEL HEAT SINKS

ABSTRACT

While microchannel heat sinks (MCHS) are indispensable structures for cooling electronic components, modifying their geometric design offers significant potential for achieving higher thermal performance. Improving the hydrothermal performance of these heat sinks is a necessity for meeting high heat transfer requirements. This study aims to numerically evaluate the effects of a multi-segmented flow channel structure on heat transfer and pressure drop in microchannel heat sinks, considering various microchannel heat sink models. The numerical analysis has been conducted by solving the continuity, momentum, and energy equations under three-dimensional, steady, and laminar flow conditions using the Ansys-Fluent software. In the study, incompressible water and an SiO₂-water nanofluid with a 2% volumetric concentration have been used as the working fluid at a channel inlet temperature of 300 K. Efforts have been made to improve performance by comparing Model 1-a sample model among the two MCHS models evaluated-with Model 2, an innovative model featuring distinct multi-partitioned flow channels. While a constant heat flux of 20,000 W/m² is applied to the base of the copper-plate MCHS, the inlet mass flow rates of the working fluids-water and SiO₂-water nanofluid-are varied between 0.002 kg/s and 0.0045 kg/s in increments of 0.0005 kg/s. The top and sides of the copper heat sink plate are insulated, and a constant heat flux is applied only to the bottom surface. The obtained results have been compared with experimental and numerical results from the literature and found to be consistent with them. The results demonstrate that, at a flow rate of 0.0025 kg/s, the Nu_{avg} for Model 1 using water as the working fluid is 3.55% higher than that of the SiO₂-water nanofluid. Furthermore, at a flow rate of 0.0045 kg/s, the pressure drop value for Model 2 in channels using the SiO₂-water nanofluid is 34.76% higher than that of Model 1.

Keywords: Microchannel heat sink, Heat transfer, Segmented channel, SiO₂-water-nanofluid

1. GİRİŞ

Teknolojideki hızlı ilerlemeyle birlikte araştırmacılar ve tasarımcılar, artan performans ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla daha fazla minyatürleştirilmiş elektronik bileşen ürünlerini entegre etmeye yönelmiştir. Ancak, bu gelişme cihaz boyutlarının küçülürken güçlerinin artmasının, birim alan başına ısı akısında önemli bir artışa yol açması nedeniyle termal yönetimde artan bir zorluğu da beraberinde getirmiştir. Bu ısının etkili ve hızlı bir şekilde dağıtılmaması durumunda, çalışma sıcaklıkları kritik sınırları aşacak ve bu da performansı ve güvenilirliği olumsuz yönde etkileyebilecektir (Mozafari ve ark., 2021). Hidrotermal ısı emicilerin termal performansını artırmak için çeşitli pasif ve aktif yaklaşımlar kullanılarak birçok hesaplamalı ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Bu çözümlerden bazıları giriş ve çıkış tasarımlarını (Al-Hasani ve Freegah, 2022; Chein ve Chen, 2009), çeşitli konfigürasyonlara

sahip genişletilmiş yüzeylerin (kanatçıkların) kullanımını (John ve ark., 2010; Babar ve Ali, 2019; Hosseinirad ve ark., 2019; Vasilev ve ark. 2021), kanal biçimlerini (Gunnasegaran ve ark., 2010) ve soğutucu katkı maddelerinin kullanımını (Sohel ve ark., 2014; Xia ve ark., 2016; Rabby ve ark., 2021) içermektedir. Birçok bilim insanı, bir optimizasyon stratejisi olarak değişen dalga boyları ve genliklere sahip dalgalı bir kanalın (Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2016; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2022; Lin ve ark., 2017; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2021) yanı sıra bir yakınsama-ıraksama kanalının (Gong ve ark., 2011; Xu ve ark., 2016) kullanımını araştırmıştır. Toprak ve ark. (2022), tüp benzeri ağ tasarımına sahip bir mini kanal ısı emici (MCHS) üzerinde deneysel ve sayısal bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, kare tasarımın termal verimlilik katsayısı açısından genel olarak en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Shen ve ark., (2025), Tesla desenli mikrokanal, pim kanatlı mikrokanal ve dikdörtgen mikrokanal ısı emicilerinin ısı transferi ve akış özelliklerini farklı çalışma koşulları altında karşılaştırmak ve analiz etmek amacıyla deneyler gerçekleştirilmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre diğer iki mikrokanal ısı emiciye kıyasla, Tesla desenli mikrokanal ısı emicinin ekstra 150 W/cm^2 ısı akısını dağıtabildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, gömülü çoklu Tesla desenli mikrokanalın gelişmiş ısı transferinin, çalışma sıvısının duvar yüzeyine birden fazla kez çarpmasına neden olan kavisli yapısına bağlamışlar ve bunun da sınır tabakasını bozarak, çalışma sıvısının geri akışını engellediğini bulmuşlardır. Yang ve ark., (2026), çalışmalarında çok yüksek yüksek ısı akılarında verimli arka plan ve sıcak nokta soğutması için silisyum karbür (SiC) çok kanallı mikrokanallı bir ısı emicinin performansını deneysel olarak araştırmışlardır. $15 \text{ } \mu\text{m}$ genişliğinde ve $100 \text{ } \mu\text{m}$ derinliğinde bir mikrokanal dizisi, plazma aşındırma yöntemi kullanılarak yüksek termal iletkenliğe sahip bir SiC alt tabakada üretilmiştir. Soğutucu olarak tek fazlı deiyonize su kullanılmış ve mikrokanal ısı emicinin performansı değişen arka plan ve yerel sıcak nokta ısı akısı koşulları altında değerlendirilmiştir. SiC çoklu mikrokanal ısı emici, $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 'lik bir alanda 3190 W/cm^2 'lik bir arka plan ısı akısını yalnızca 32 kPa 'lık bir basınç düşüşüyle başarıyla emebilmiş ve $100 \times 100 \text{ } \mu\text{m}^2$ 'lik bir alanda $12,0 \text{ kW/cm}^2$ 'lik yerel bir sıcak nokta ısı akısını ortadan kaldırırken, sıcak noktanın sıcaklık artışını $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında tutabilmeyi başarabilmiştir. Ge ve ark., (2022), modern mikro boyutlu bir ısı emici ile donatılmış sıvı soğutmalı bir CPU'nun termal-hidrolik performansını değerlendirmişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarını bir algoritmayla birleştirerek, farklı boyutlarda kanatçıklara sahip bir ısı emiciyi optimize etmeyi önermişlerdir. Sonuçlar, bu optimizasyonun ısı transfer kapasitesini önemli ölçüde artırdığını ancak aynı zamanda gerekli pompalama gücünde de artışa yol açtığını göstermiştir.

Kanal konfigürasyonunun, çok kanallı bir ısı emicisinde akışkan akışı ve ısı iletimi üzerindeki etkisi Ghadhban ve Jaffal (2023) tarafından incelenmiştir. Ulaştıkları bulguları, kanal tasarımındaki son değişikliğin geleneksel düz kanala kıyasla ısı transfer verimliliğini artırdığını göstermiştir. Dalgalı kanal için ise Nu sayısındaki en büyük artışın %30,5 olduğu tahmin edilmektedir. Wang ve ark., (2019), farklı kanal konfigürasyonlarını (yamuk, üçgen ve dikdörtgen) ve ayrıca giriş ve çıkış kombinasyonlarını (I, C ve Z tipleri) simüle etmek için sonlu hacim yönteminden yararlanmışlardır. Dikdörtgen giriş ve çıkışa sahip dikdörtgen başlıklı modeli, sürekli ve tutarlı bir hız sağlaması ve ısıyı da diğerlerine göre daha iyi iletmesi nedeniyle en pratik model olarak seçmişlerdir. Modellerin her birinde ortada dikey bir giriş ve bir, iki veya dört çıkış noktası bulunmaktadır. Sonuçlar, dört çıkışlı model konfigürasyonunun

en yüksek kaliteye ve en düşük akış direncine sahip olduğunu göstermiştir. Siahchrehghadikolaei ve ark. (2025), karbon nanotüpler/H₂O nanoakışkan uygulaması ve dalgalı kanatlı çukurlar kullanarak CPU'nun (bilgisayar işlemcisi) termal yönetimini iyileştirmek için hibrit pasif soğutmanın sayısal bir simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Termal etkiyi ve soğutma gücünü iyileştirmek için, delikli nozullara sahip bir palet bıçağı ve farklı konsantrasyonlarda titanyum oksit nanoparçacıkları, bir CFD programı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır (Gholinia ve ark., (2022)). Nabi ve ark. (2023), termal-fotovoltaik modüllerin performansını artırmak için yeni, çevre dostu kırmızı şarap-rGO/H₂O nanoakışkanı ve parafin mumu kullanmışlardır. Termal ve hidrolik performansın özelliklerini yenilikçi bir köpekbalığı ölçeğinde yüzgeç geometrisi tasarımı kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir (Ghouchi ve ark., (2024)).

Isı emicilerin termal performansı üzerine yapılan kapsamlı çalışmalara rağmen, akış bölünmesinin akışkan akış davranışı ve ısı transfer özellikleri üzerindeki etkisi çok az dikkate alınmıştır. Mevcut araştırmaların çoğu, termal performansı iyileştirmek için kanal şeklini, kütle akış hızını ve uygulanan ısı akışını ayarlamaya odaklanmaktadır. Ancak, bu iyileştirmeler çoğunlukla büyük bir basınç düşüşüne yol açmakta ve bu da hidrolik verimlilik üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu çalışmada ise, MKIE (mikro kanal ısı emici) içindeki kanal şeklini tanıyarak sıvı dağıtım yüzey alanını ve ısı yayılımının homojenliğini artırmak ve böylece kabul edilebilir bir basınç düşüşünü korurken; genel termal verimliliği yükseltmek amaçlanmaktadır. Bu kısıtlamayı gidermek için de bu çalışmada iki yeni MKIE konfigürasyonu sunulmakta ve akış bölünmesinin hidrotermal performans üzerindeki etkisinin kapsamlı bir analizi gerçekleştirilmektedir. Modeller geleneksel çok kanallı mini soğutucular olup, karşılaştırılan temel model olan Model 1, girişten çıkışa doğru akış yönünde ilerleyen boylamasına bölüntülerden oluşurken, Model 2'de ise nanoakışkan bölüntüler arasından dağılarak kanalın alt kısmındaki kanal çıkışına doğru yönelmektedir. Ayrıca, akışkan olarak su haricinde ısı iletkenliklerinin daha iyi olduğu %2 hacimsel konsantrasyonlu SiO₂-su nanoakışkanı kullanılmıştır.

2. SAYISAL MODELLEME

Isı emicinin hem termal hem de hidrolik kapasite açısından etkinliğini belirlemek için, CFD sayısal simülasyonunda üç farklı model oluşturulmuştur. SIMPLE yöntemi, hız ve basıncı birleştirmek için yönetim denklemlerinde kullanılırken, momentum ve enerji denklemleri ikinci dereceden sayısal bir yöntem kullanılarak uygulandı. Kanaldaki taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır. Ayırıklaştırma yöntemi olarak momentum denklemleri için “Second Order Upwind” yöntemi tercih edilmiştir. Sayısal çözümlerin yakınsaması için yakınsama kriteri momentum denklemi için 10⁻⁶ ve enerji denklemi için 10⁻⁷ olarak alınmıştır.

MKIE (mikro kanal ısı emici) modeli, birbirinden izole edilmiş iki ayrı hesaplama alanına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan katı bakırın termofiziksel özellikleri ise şunlardır: 385 J/(kgK) özgül ısı, 401 W/(mK) ısı iletkenlik ve 8933 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Çok miktarda sıvı içeren

bölge, soğutma işlemi sırasında ısıyı taşınım yoluyla aktarmaktan sorumludur. Katı bölge, akış yönüne göre değişen şekilde çok sayıda kanatçıktan, katı duvarlardan ve ısınan bir tabandan oluşmaktadır. Çok miktarda sıvı içeren bölge ise MKIE kanalı içinde sıvıların hareketi için kullanılır. Sınır koşullarının doğruluğu, simülasyon yöntemini önemli ölçüde etkileyebilir. Tekrarlanabilir ve geçerli sonuçlar elde etmek için, sınırlar, kabul görmüş fiziksel prensiplere uygun olarak tanımlanmalı ve uygulanmalıdır. Akış ve ısı transferi alanlarının sınırları genellikle akışkanın derinliği veya sıcaklığı tarafından belirlenir. Şekil 2, hesaplama alanının ve sınır koşullarının şematik taslaklarını göstermektedir.

Kritik sınır koşullarından biri, tabana uygulanan ve 20.000 W/m^2 olarak belirlenen ısı akısıdır. Soğutma sıvısı esas olarak alanın içine girerken 300 K (27°C) sıcaklığa sahip saf sudan ve SiO_2 -su nanoakışkanından oluşmaktadır. Laminer akış koşulu, kullanılmıştır. Kütle boyunca tipik akış hızı $0,002 \text{ kg/s}$ ile $0,0045 \text{ kg/s}$ arasında $0,0005 \text{ kg/s'lik}$ adımlarla değişmektedir. Kanalin çıkışında, sıfır basınç koşulu ($P_{\text{out}} = P_{\text{atm}}$) uygulanmaktadır. Bakır ısı emici plakanın üst ve yan kısımları, yalıtılmış olup yalnızca alt kısmından ısı uygulanmaktadır. Akışkan, üst kısımdan kanala giriş yaparken alt taraftan ise çıkış yapmaktadır. Görsel 1’de sırasıyla Model 1 ve Model 2’nin geometrik yapıları ve bu yapılar üzerinde de kanal ve bölüntü kanatçıklarının ölçüleri verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan her bir ısı emicinin temel boyutları; 5 mm yükseklik, 86 mm genişlik ve 100 mm uzunluktur. Her bir kanalın genişliği 4 mm , yüksekliği 2 mm' dir ve kanallar arasındaki kanatçık kalınlığı 2 mm' dir. Akışkan kanallardan akarken, giriş sıcaklığı 300°C olup, bakır tabakadan açığa çıkan ısı akışkan sıcaklığının artmasına neden olur.

Buna göre analiz aşağıdaki varsayımsal gerçeklere dayanmaktadır:

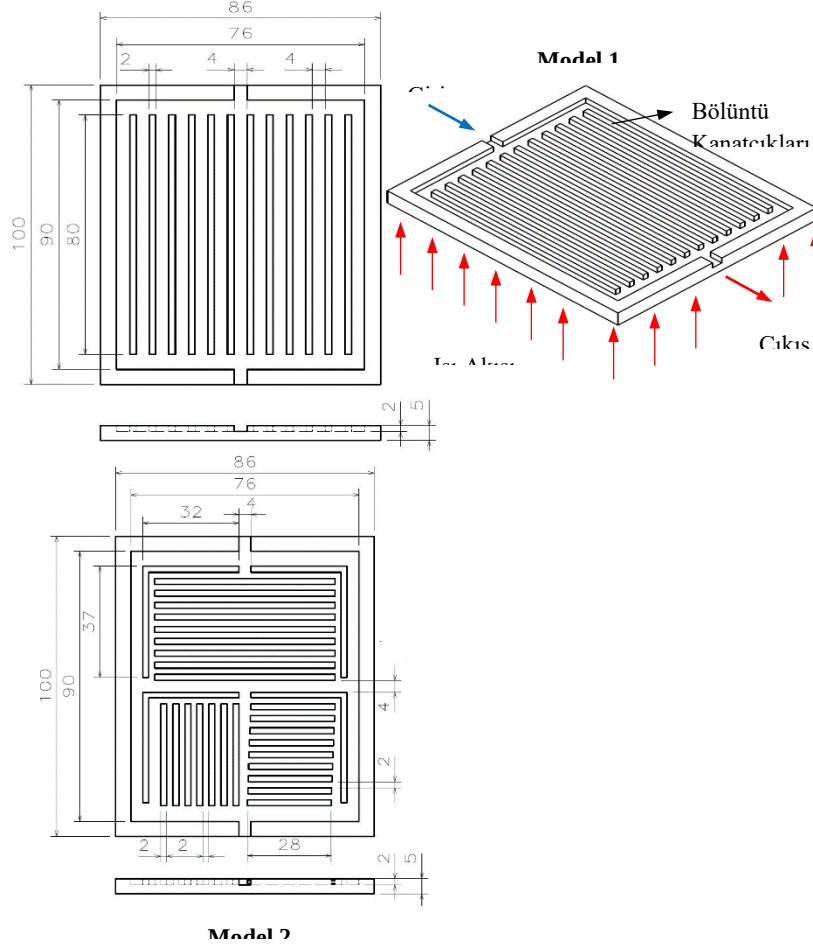
Sıvının hareketi kararlı ve doğrusaldır.

Akış, tek fazlı ve üç boyutludur.

Kanalda zorlanmış taşınım ile ısı transferi söz konusudur.

Isı emicilerin tabanı sabit bir ısı akışına maruz kalırken, diğer tarafları tamamen yalıtılmıştır.

Radyasyonla ısı transferi mekanizması, analizde önemsiz bir rol oynadığı düşünüldüğü için dikkate alınmamıştır.



Görsel 1. Modellerin geometrik yapı ve ölçüleri

Analiz için aşağıdaki korunum denklemleri, önceki varsayımların önerdiği gibi, (Hosseinirad ve ark., (2019); Khoshvaght-Aliabadi ve ark., (2022); Lin ve ark., (2017); Ammar ve ark.,(2025))'te verilen formüller kullanılarak geliştirilmiştir. Kütle korunumunu açıklayan süreklilik denklemi, aşağıdaki formülle verilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Akışkan içindeki doğrusal momentumun korunumu için hareket eşitliği şu şekilde yazılır:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Burada ρ , p ve μ_f sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu, basıncını ve dinamik viskozitesini ifade etmektedir.

Isı enerjisinin korunumu prensibini açıklayan enerji eşitliği şöyledir:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

ρ_f ve $c_{p,f}$ değişkenleri sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu ve özgül ısı kapasitesini gösterirken, yerel sıcaklık T 'dir.

Katı haldeki ısı iletimi yoluyla tüketilen enerjinin eşitliği şöyledir:

$$k_s \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (6)$$

Burada k_s , ısı emici malzemenin özgül termal iletkenliğini temsil eder.

MKID aracılığıyla soğutucu tarafından emilen ısı enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, (2019)):

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T_s = h A_{etkin} (T_{b,ort} - T_{f,ort}) \quad (7)$$

Birim alan başına aktarılan ısı miktarı şu eşitlikle hesaplanır ((Chamanroy, Z., Khoshvaght Aliabadi, (2019); Imran ve ark., (2018)):

$$h = \frac{\dot{m} c_p \Delta T_s}{A_{etkin} (T_{b,ort} - T_{f,ort})} \quad (8)$$

Burada $\dot{m}$, c_p ve ΔT_s sırasıyla soğutucunun ortalama kütle akış hızını, özgül ısısını ve soğutucunun sıcaklık farkını temsil etmektedir. A_{etkin} , $T_{b,ort}$ ve $T_{f,ort}$ ise sırasıyla sıvının temasta olduğu yüzey alanını, akışkanın ortalama sıcaklığını ve akışkanın film sıcaklığını ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$T_{f,ort} = \frac{T_{f,giriş} + T_{f,çıkış}}{2} \quad (9)$$

$$Nu_{ort} = \frac{hD_h}{k_f} \quad (10)$$

Burada h , D_h ve k_f sırasıyla ortalama ısı transfer katsayısını, kanalın hidrolik çapını ve soğutucunun termal iletkenliğini ifade etmektedir.

Hidrolik çap aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (11)$$

A , kanalın kesit alanını temsil eder ve P , kanalın ıslak çevresinin uzunluğudur.

Kanal boyunca basınç düşüşü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır

$$\Delta p = \frac{f \rho D_h}{2} V^2 \quad (12)$$

Bu eşitlikte, Δp kanalın giriş ve çıkışı arasındaki basınç düşüşü, f sürtünme faktörü ve V ise akışkanın kanaldaki ortalama hızını temsil etmektedir.

Reynolds sayısını hesaplamak için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_h \mu} \quad (13)$$

Çalışmada kullanılan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri literatürde de sıklıkla kullanılan ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmakta ve bu eşitliklere göre bulunan değerler Çizelge 1’de sunulmaktadır.

Nanoakışkanın yoğunluğu (Mohammed ve ark., (2011))

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{nf} + \varphi\rho_{np} \quad (14)$$

Nanoakışkanın ısı kapasitesi (Mohammed ve ark., (2011))

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho c_p)_w + \varphi(\rho c_p)_{np} \quad (15)$$

Nanoakışkanın ısı iletkenliği (Mohammed ve ark., (2011))

$$k_{nf} = \frac{k_{np} + 2k_w + 2(k_{np} - k_w)\varphi}{k_{np} + 2k_w - 2(k_{np} - k_w)\varphi} k_w \quad (16)$$

Nanoakışkanın viskozitesi (Mohammed ve ark., (2011))

$$\mu_{nf} = \mu_w(1 + 2.5\varphi) \quad (17)$$

Bu eşitliklerde, φ ve ρ_{np} sırasıyla nanoakışkanın konsantrasyonunu ve katı halde nanoparçacığın yoğunluğunu belirtirken, c_p özgül ısıyı göstermektedir. n_f ve n_p ise sırasıyla nanoakışkan ve katı nanoparçacığı temsil etmektedir.

Çizelge 1. Su ve nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (300 K)

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	μ (Ns/m ²)
Su	0,613	998,2	4182	0,001003
SiO ₂ -su nanoakışkanı	0,62194	1022,236	4032,25	0,00105315

3. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

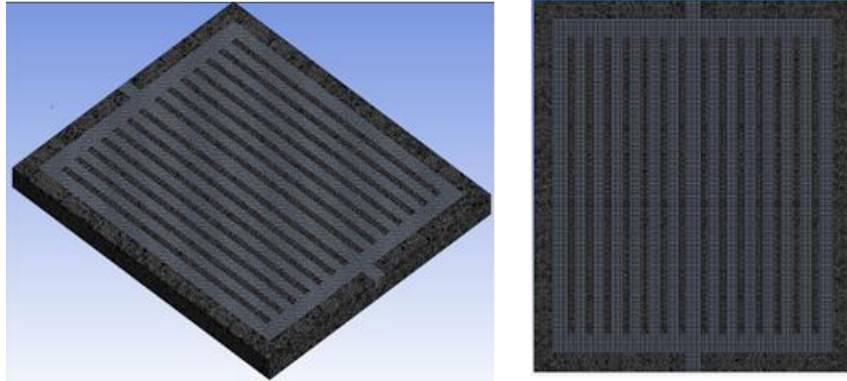
Sayısal sonuçları doğrulamak ve bunların mevcut literatürle tutarlılığını göstermek amacıyla geleneksel model olan Model 1 için bu çalışmanın bulguları, önceki araştırmaların sayısal (Ammar ve ark. (2025)) ve deneysel (Mahmood ve Freegah (2024)) ortalama Nu sayısı bulgularıyla Görsel 2’de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Her ne kadar bu çalışma ile literatür arasında Nu sayısı değerlerinde farklılıklar olsa da bu tutarsızlıklar, esas olarak sayısal çalışmadaki ağ sayısı sıklığının farklılığından ve sayısal çalışmada çalışmayı basitleştirmek amacıyla yapılan kabullerin deneysel çalışmada tam olarak karşılanamamasından kaynaklı farklılıklardan oluşmaktadır. Buna rağmen, çalışmanın sonuçları kabul edilebilir sınırlar dahilinde olup birbirlerine oldukça yakındır ve bu nedenle çalışmanın doğru ve kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

3.1. Sonuçların Ağ Sayısından Bağımsızlığının Karşılaştırılması

Bu araştırmada yer alan tüm modellerde, sıvı ve katı alanlar dahil olmak üzere, tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) ağ yapısı kullanılmıştır. Sayısal doğruluk üzerinde ağ elemanı sayısının önemli etkisi göz önüne alındığında, çözümde yakınsama sağlanana kadar eleman boyutu kademeli olarak azaltılarak ağ optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve bu noktadan sonra ek optimizasyon sonuçlarda anlamlı bir değişikliğe yol açmamıştır. Hesaplama verimliliğini artırmak için sonuç doğruluğunu korurken, simülasyon süresini azaltmak amacıyla uygun olduğunda kasıtlı olarak ince ağlar kullanılmıştır. Geleneksel model için (Model 1) su akışkanı kullanılarak yapılan analizlerde Çizelge 2’de görüldüğü gibi ağ sayısının 1773148 adetten daha fazla artırılmasının hem Nu sayısı hem de basınç düşüşü değerlerinde belirgin bir artışa neden olmadığı ve bu sebeple 1773148 adet ağ sayısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışmada düzgün dörtyüzlü ağ yapısının şekli Model 1 için Görsel 3’de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Kütlesel akış debisi ve ağ sayısına göre Nu sayısı ve basınç düşüşü değerleri

Ağ Sayısı	$\dot{m}$ (kg/s)=0.0025		$\dot{m}$ (kg/s)=0.0035		$\dot{m}$ (kg/s)=0.0045	
	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)
509570	8,54	151,42	9,84	265,47	12,45	394,41
1295790	8,75	153,44	10,24	268,79	13,47	414,25
1773148	9,70	154,41	11,50	275,43	14,15	424,11
2049112	9,70	154,42	11,50	275,42	14,14	424,12



Görsel 3. Model 1 için çalışmada kullanılan ağ yapısı görseli

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

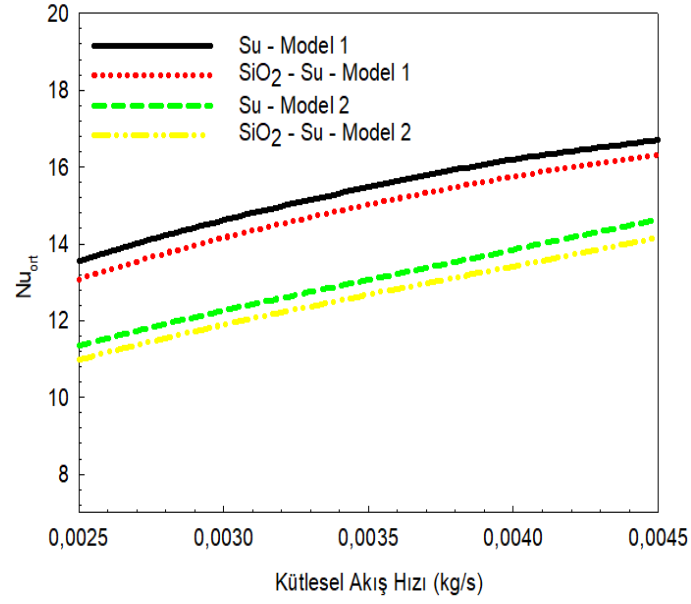
Görsel 4, farklı kanal tasarımlarının, farklı kütlesel akış hızlarında ve su ve SiO₂-su nanoakışkanı kullanılması durumlarında mikro kanal ısı emicilerinin (MKIE) ortalama Nu sayısı (Nu_{ort}) üzerindeki etkisini göstermektedir. Daha yüksek soğutma sıvısı akış hızlarının tüm modeller için ortalama Nu sayısında artışa yol açtığı Görsel 4’den görülebilmektedir. Kütle

akış hızının artması, akışkan hızını yükseltmekte ve böylece kanaldaki akışın türbülans şiddeti iyileşirken ısı transfer yüzeyine yakın termal sınır tabakasının kalınlığı azalmaktadır. Bu durum da duvara yakın sıcaklık gradyanını iyileştirmekte ve yüksek ısı transferi oranının elde edilmesini sağlamaktadır. Ayrıca, kanalda akış bölünmesinin artırılarak akışkanın ısınmış yüzey ile daha iyi bir şekilde temas etmesinin sağlanması, katı levha yüzeyi ile taşınım ısı transferini artırarak enerji alışverişini iyileştirmektedir. Genel olarak geleneksel model olan Model 1 için Model 2'ye göre daha yüksek Nu_{ort} değerleri elde edilirken, su için ulaşılan değerler nanoakışkana daha yakın olmakla birlikte az bir miktar daha yüksek olmaktadır. Akışkanların akmaya karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olan viskozitenin suya göre daha yüksek olması, özellikle bölüntülü kanallar içerisinde akış direncinin daha da artmasına sebep olarak ısı transferi artışını olumsuz etkilemektedir. Buna göre, aynı akış hızında geleneksel akışkanla karşılaştırıldığında daha düşük Nu_{ort} değerleri ile karşılaşmaktadır. 0,0025 kg/s akış hızında Model 1 için su akışkanını kullanıldığında Nu_{ort} değeri SiO_2 -su nanoakışkanına göre %3,55 daha fazla olmaktadır. Ayrıca, aynı akış hızında nanoakışkan kullanılması durumunda Model 1, Model 2'ye göre %15,36 daha yüksek Nu_{ort} değerine sahip olmaktadır.

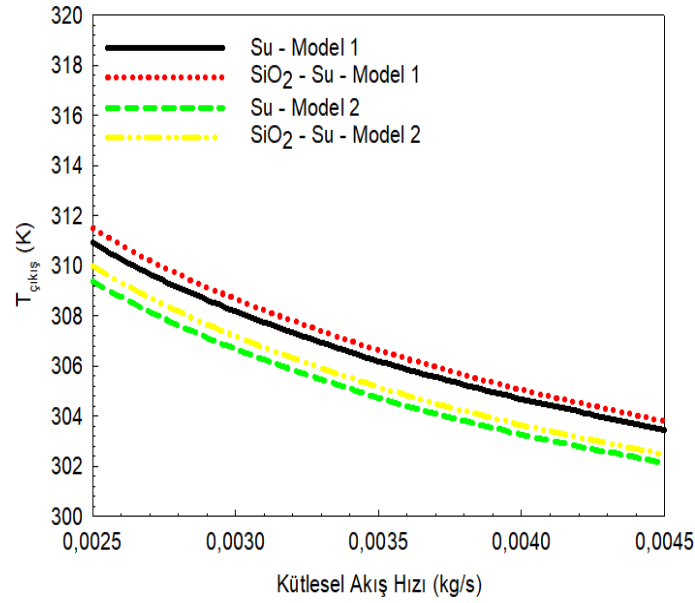
Farklı akış hızlarına sahip mikro kanal ısı emicilerindeki (MKIE) akışkanların kanaldan çıkış sıcaklık değerleri ($T_{çıkış}$) Görsel 5'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. MKIE'deki bölünmüş kanallarda ısı transferindeki akışkanların daha fazla akış yolundan geçerek kanal içerisinde kalması, akışkana olan ısı transferini artırarak kanaldan çıkış sıcaklığının daha fazla olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, nanoakışkanların su akışkanına göre daha yüksek ısıl iletkenlik değerleri, ısının katı yüzeyden akışkana daha fazla transfer olmasını ve MKIE'lerin daha güvenilir sıcaklık sınırları içerisinde kalmasını sağlayarak enerji transferini artırmaktadır. Kütleli akış hızının artışıyla kanal içerisinde artan akışkan hızı, kondüksiyonla olan ısıl direncin artmasına sebep olurken, konveksiyonla olan ısıl direncin ise azalmasını sağlamaktadır. Bu durum ise kondüksiyonla olacak ısı transfer hızını azalttığından akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklığında azalmaya sebep olmaktadır. Bu nedenle, nanoakışkan kullanılan kanallarda en yüksek akışkan çıkış sıcaklık ($T_{çıkış}$) değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, birbirlerine çok yakın olmakla birlikte Model 1; Model 2'den daha iyi bir $T_{çıkış}$ performans sergilemektedir.

Kütleli akış hızlarına göre MKIE kanalları boyunca farklı akışkan tipleri için basınç düşüşleri Görsel 6'da görselleştirilmiştir. Kütleli akış hızı arttıkça yüksek hızın kanal duvarları boyunca daha fazla sürtünme kaybına ve ayrıca akışkan katmanları ve kanal yüzeyi arasında viskoz sürtünme ve kayma kuvvetlerine neden olmasından dolayı basınç düşüşü artmaktadır. Bu durum da akışın kanal boyunca sürekliliği için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmasına yol açmaktadır. Ayrıca, daha yüksek hızlar akış türbülansına neden olarak enerji kayıplarının ve basınç düşüşünün artmasına katkıda bulunmaktadır. Görsel 6 incelendiğinde, kanal içerisinde akış bölünme yapılarına bağlı olarak en yüksek basınç düşüşü değerlerinin; Model 1'e göre kanaldaki bölüntü oranının daha fazla olduğu Model 2 için her iki akışkan tipi için de elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, Model 2 ve Model 1 için farklı kütleli akış hızlarında basınç düşüşü değerleri birbirlerine yakınsak olarak; su için nanoakışkandan daha yüksek değerlere ulaşılmaktadır. Basınç düşüşünün fazla olması, kanal içerisinde akışkan hareketini etkileyerek ısı transferinin farklı akış bölüntülü MKIE tasarımlarında farklılıklar göstermesine

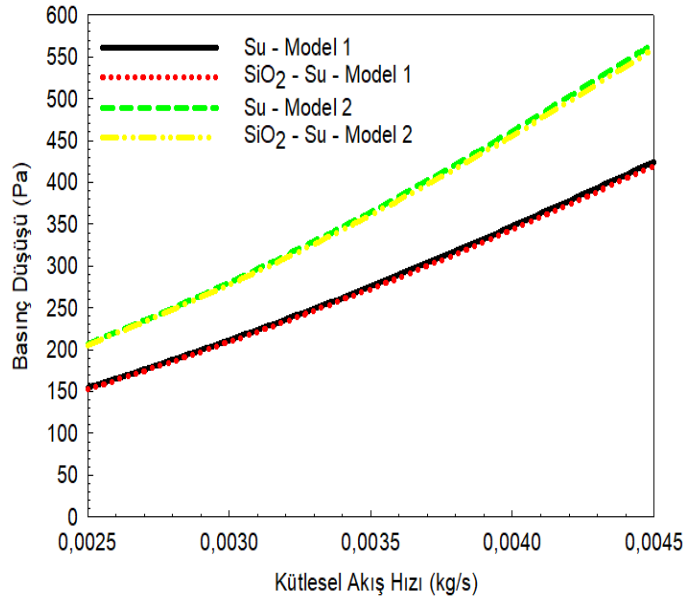
sebeptir. 0,0045 kg/s akış hızı değerinde SiO₂-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değeri, Model 1’den %34,76 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Görsel 4. Nu_{ort} değerinin farklı MKTE kanalları ve akışkanlar için değişimi



Görsel 5. $T_{cıkış}$ değerinin farklı MKTE kanalları ve akışkanlar için değişimi

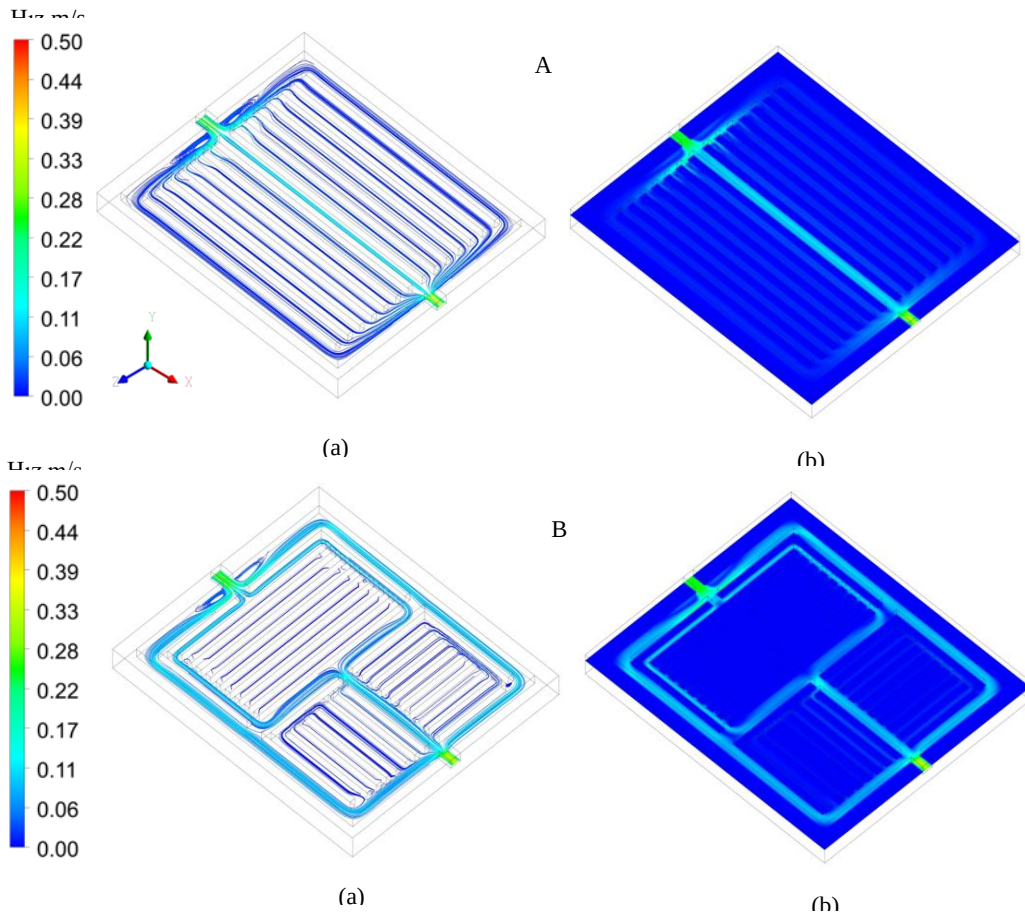


Görsel 6. Basınç düşüşünün farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için değişimi

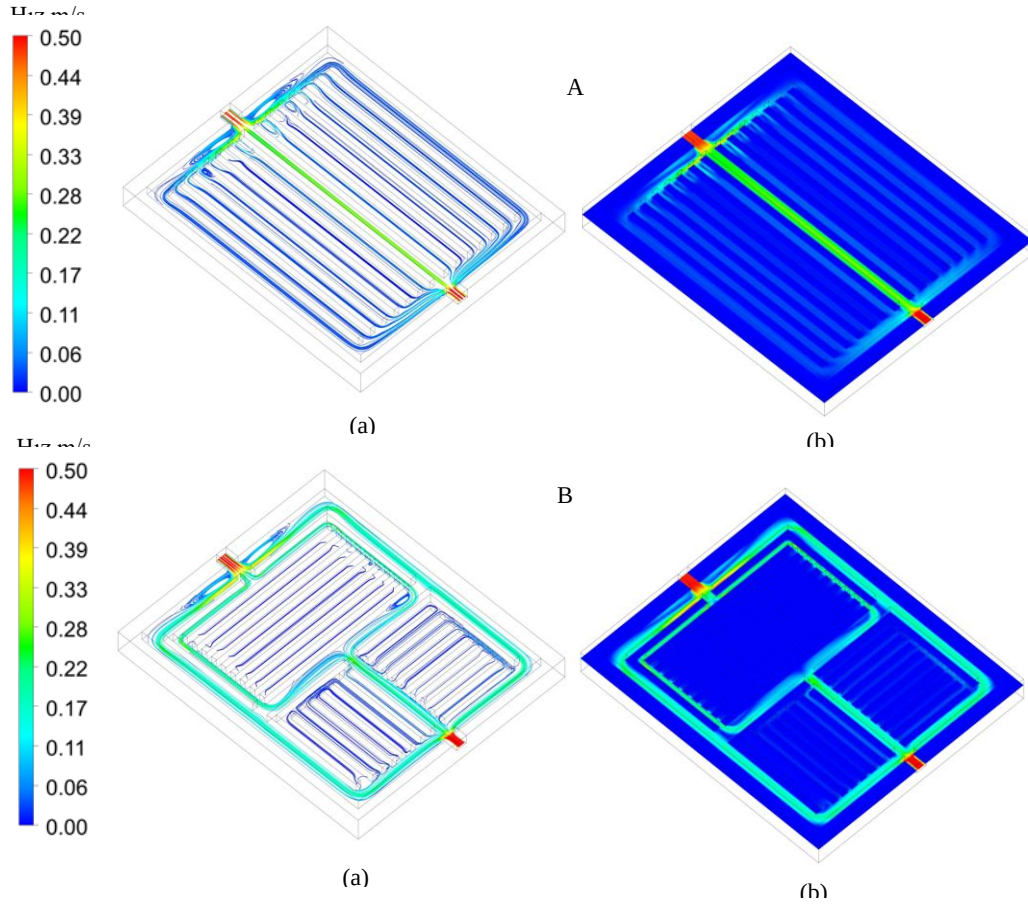
Görsel 7 ve 8’de sırasıyla 0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızlarında MKIE modelleri olan A-Model 1 ve B-Model 2 için SiO₂-su nanoakışkanın (a) akım çizgisi konturu ve (b) hız konturu dağılımları verilmektedir. Geleneksel model olan Model 1 için her iki kütleli akış hızında da akışkan, bölümlere ayrılarak kanal çıkışına doğru yönelmekle birlikte daha dirençsiz akış yolu olan doğrudan karşı taraftaki çıkışa doğru hareketini sürdürmektedir. Bu durum, hız konturu dağılımından da kolaylıkla görülebilmektedir. Kanalin giriş kısmının Model 1’e göre enlemesine bölüntülerin olduğu ve çıkış kısmının ise Model 1’e benzer fakat daha kısa bölüntülerle akış yönünde olduğu tasarıma sahip Model 2’de ise nanoakışkan bölüntüler arasından dağılarak kanalın alt kısmındaki kanal çıkışına doğru yönelmektedir. Kütleli akış hızının 0,004 kg/s olduğu Görsel 8’deki kontur dağılımlarından da görülebildiği gibi akışkan hızı artırıldığında akış, bölüntüler arasında ve etrafında daha iyi bir şekilde akabilmektedir. Akışkanın kanallardaki bölüntüler arasındaki hareketinin iyileştirilmesi yüksek ısı kapasitesine sahip MKIE’lerin soğutulurak ısınmış bölgelerin azaltılması için son derece önemlidir.

Sırasıyla Görsel 9A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s akış hızlarında MKIE düzenlemeleri olan (a)-Model 1 ve (b)-Model 2 için SiO₂-su nanoakışkan sıcaklık konturu dağılımları gösterilmektedir. Tüm MKIE modelleri için kanallardaki akış hızlarının artmasıyla ısı transferinin artışına bağlı olarak akış hızının 0,004 kg/s olduğu modeller için daha düşük sıcaklık değerleri elde edildiği kontur dağılımlarından görülebilmektedir. 300 K sıcaklıklı akışkanın kanala giriş yaptığı durumda alt bakır plaka ile sıcaklık farkı en fazla olduğundan ısı transferi bu bölgede en yüksek, ancak kanal çıkışına doğru akışkan ısınarak ilerlediğinden sıcaklık farkı azalmakta ve MKIE modellerinde (Model 1 ve 2) sıcaklık artışları görülmektedir. Bununla birlikte, Model 1, Model 2 ile karşılaştırıldığında özellikle akış hızı 0,004 kg/s değerine çıkarıldığında kanal çıkışına doğru nanoakışkanın soğumasının daha homojen olduğu kontur dağılımlarından kolaylıkla görülebilmektedir.

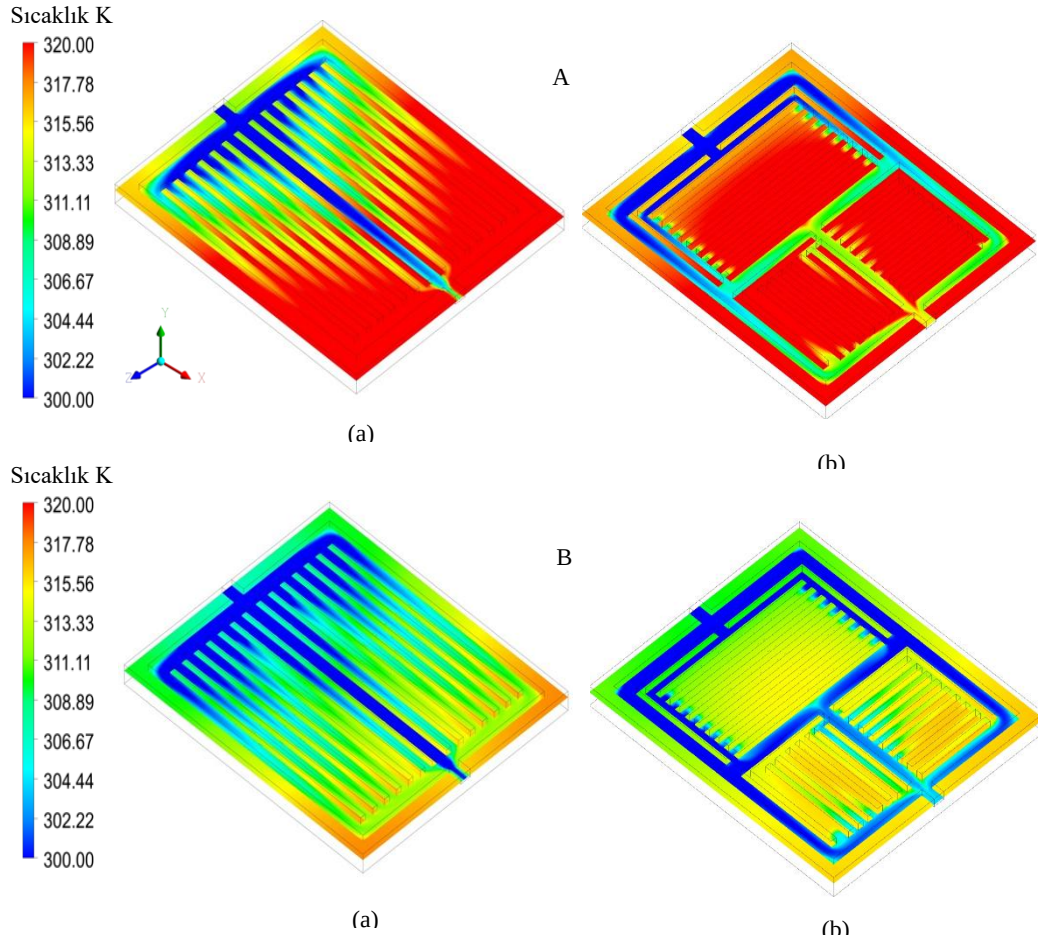
0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızlarında (a)-Model 1 ve (b)-Model 2 için SiO₂-su nanoakışkanının basınç konturu dağılımları sırasıyla Görsel 10-A ve B’de verilmektedir. Akışkan, MKIE kanallarına belirli bir hızla girdiğinden oluşan basınç sonucu kanallardaki bölüntüler arasında hareketini sürdürmektedir. Ancak, hem nanoakışkanın kendi içerisinde hem de kanal duvarları arasındaki sürtünmeler sonucu oluşan viskoz kayıplar nedeniyle basınç kanalın sonuna doğru düşmektedir. Bu durum özellikle yüksek akış hızlarında MKIE kanallarında daha belirgin hale gelmektedir. Bu sebeple, akış hızının 0,004 kg/s olduğu Model 2’nin kanal çıkışına doğru giriş kısmına kıyasla basınç düşüşünün daha belirgin bir hal aldığı basınç konturlarından görülebilmektedir.



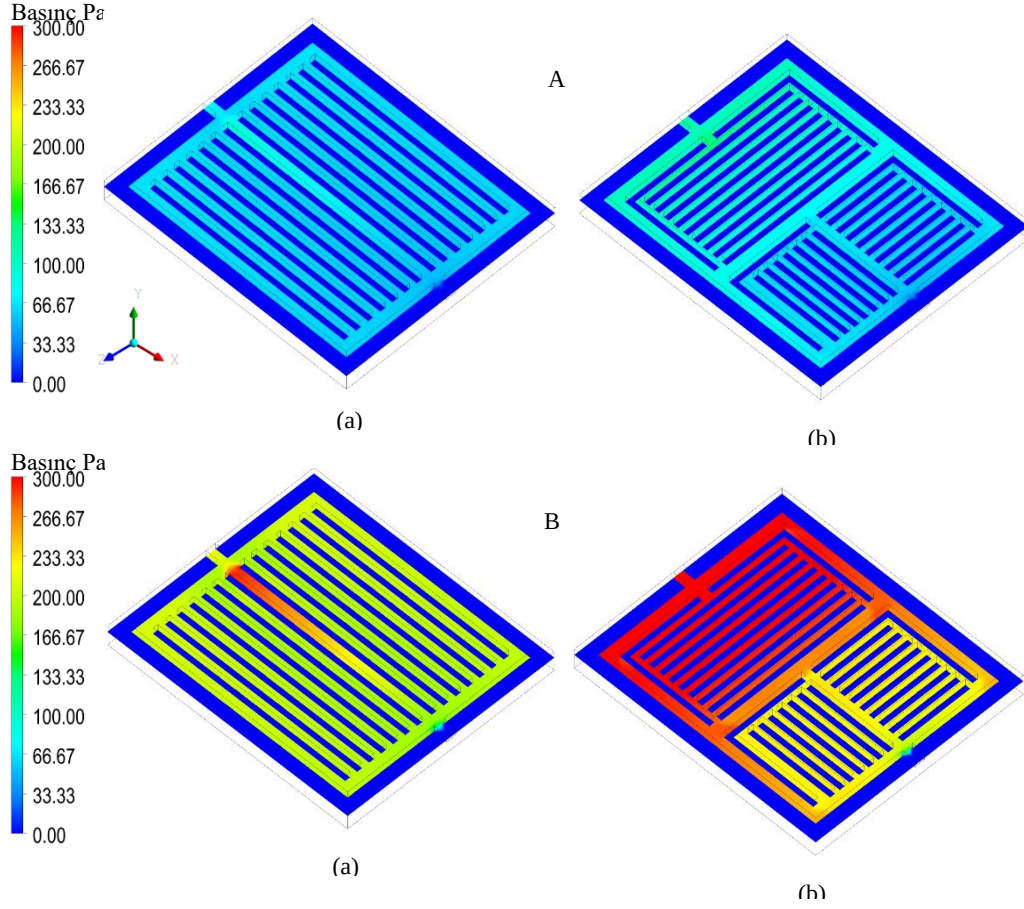
**Görsel 7. 0,002 kg/s kütleli akış hızında SiO₂-su nanoakışkanının hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2
(a) akım çizgisi (b) hız konturu**



Görsel 8. 0,004 kg/s kütlelesel akış hızında SiO_2 -su nanoakışkanı hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2



Görsel 9. A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s kütleli akış hızında SiO₂-su nanoakışkanı sıcaklık konturu dağılımı (a) - Model 1 (b) - Model 2



Görsel 10. A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s kütleli akış hızında SiO₂-su nanoakışkanı basınç konturu dağılımı (a)-Model 1 (b)-Model 2

5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

MKIE kanallarının ısı performansı ve basınç düşüşü incelemesi amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kütle akış hızının artması, akışkan hızını yükseltmekte ve böylece kanaldaki akışın türbülans şiddeti iyileşirken ısı transfer yüzeyine yakın termal sınır tabakasının kalınlığı azalmaktadır.
- Kanalda akış bölünmesinin artırılarak akışkanın ısınmış yüzey ile daha iyi bir şekilde temas etmesinin sağlanması, katı levha yüzeyi ile taşınım ısı transferini artırarak enerji alışverişini iyileştirmektedir.
- Model 1 için Model 2'ye göre daha yüksek Nu_{ort} değerleri elde edilirken, su için ulaşılan değerler nanoakışkana daha yakın olmakla birlikte az bir miktar daha yüksek olmaktadır.
- 0,0025 kg/s akış hızında Model 1 için su akışkanı kullanıldığında Nu_{ort} değeri SiO₂-su nanoakışkanına göre %3,55 daha fazla olmaktadır.
- Aynı akış hızında nanoakışkan kullanılması durumunda Model 1, Model 2'ye göre %15,36 daha yüksek Nu_{ort} değerine sahip olmaktadır.

- Nanoakışkanların su akışkanına göre daha yüksek ısıl iletkenlik değerleri, ısıнын katı yüzeyden akışkana daha fazla transfer olmasını ve MKIE’lerin daha güvenilir sıcaklık sınırları içerisinde kalmasını sağlayarak enerji transferini artırmaktadır.
 - Nanoakışkan kullanılan kanallarda en yüksek akışkan çıkış sıcaklık ($T_{\text{çıkış}}$) değerlerine ulaşılmaktadır.
 - Birbirlerine çok yakın olmakla birlikte Model 1, Model 2’den daha iyi bir $T_{\text{çıkış}}$ performans sergilemektedir.
 - Model 2 ve Model 1 için farklı kütleli akış hızlarında basınç düşüşü değerleri birbirlerine yakınsak olarak; su için nanoakışkandan daha yüksek değerlere ulaşılmaktadır.
 - Basınç düşüşünün fazla olması, kanal içerisinde akışkan hareketini etkileyerek ısı transferinin farklı akış bölüntülü MKIE tasarımlarında farklılıklar göstermesine sebep olmaktadır.
 - 0,0045 kg/s akış hızı değerinde SiO₂-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değeri, Model 1’den %34,76 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Sonuç olarak, MKIE tasarımında en önemli durum, akışkan hareketine engel olunmayarak basınç düşüşünün sınırlı tutulmasıdır.

KAYNAKÇA

- Al-Hasani, H.M., Freegah, B. (2022) Influence of fluid inlet-outlet on hydrothermal evaluation for different serpentine mini-channel heat sink configurations, *Heat Transfer* 51(8), 7635-7654.
- Ammar, N.A., Freegah, B., Al-Obaidi, A.R. (2025) Hydrothermal performance enhancement of minichannel heat sink with inline and staggered arrangements of straight and wavy fins, *Heat Transfer*, 54, 3775-3789.
- Babar H., Ali, H.M. (2019) Airfoil shaped pin-fin heat sink: potential evaluation of ferric oxide and titania nanofluids, *Energy Conversion and Management*, 202, 112194.
- Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, M. (2019) Analysis of straight and wavy miniature heat sinks equipped with straight and wavy pin-fins, *International Journal of Thermal Sciences* 146, 106071.
- Chein, R., Chen, J. (2009) Numerical study of the inlet/outlet arrangement effect on microchannel heat sink performance, *International Journal of Thermal Sciences* 48(8), 1627-1638.
- Ge, Y., He, Q., Lin, Y., Yuan, W., Chen, J., Huang, S.M. (2022) Multi-objective optimization of a mini-channel heat sink with non-uniform fins using genetic algorithm in coupling with CFD models, *Applied Thermal Engineering*, 207, 118127.
- Ghadhban, F.N., Jaffal, H.M. (2023) Numerical investigation on heat transfer and fluid flow in a multi-minichannel heat sink: effect of channel configurations, *Results in Engineering*, 17, 100839.
- Gholinia, M., Ranjbar, A.A., Hosseinpour, A.A. (2022) CFD analysis of (TiO₂)–H₂O nanofluids on Si-IGBT power electronic module with a new micro-nozzle model, *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry*, 147(20), 11577-11589.
- Ghouchi, T., Pourfallah, M., Gholinia, M. (2024) The thermal and hydrodynamic analysis in a heat sink with different configurations of shark scales-based fins, *Applied Thermal Engineering*, 250, 123492.
- Gong, L., Kota, K., Tao, W., Joshi, Y. (2011) Parametric numerical study of flow and heat transfer in microchannels with wavy walls, *Journal of Heat Transfer*, 133(5), 051702.

- Gunnasegaran, P., Mohammed, H.A., Shuaib, N.H. Saidur, R. (2010) The effect of geometrical parameters on heat transfer characteristics of microchannels heat sink with different shapes, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(8), 1078-1086.
- Hosseini-rad, E., Khoshvaght-Aliabadi, M., Hormozi, F. (2019) Effects of splitter shape on thermal-hydraulic characteristics of plate-pin-fin heat sink (PPFHS), *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 143, 118586.
- Imran, A.A., Mahmoud, N.S., Jaffal, H.M. (2018) Numerical and experimental investigation of heat transfer in liquid cooling serpentine minichannel heat sink with different new configuration models, *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 128-139.
- John, T.J., Mathew, B., Hegab, H. (2010) Parametric study on the combined thermal and hydraulic performance of single phase micro pin-fin heat sinks part 1: square and circle geometries, *International Journal of Thermal Sciences*, 49(11), 2177-2190.
- Khoshvaght-Aliabadi, M., Sahamiyan, M., Hesampour, M., Sartipzadeh, O. (2016) Experimental study on cooling performance of sinusoidal-wavy minichannel heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 92, 50-61.
- Khoshvaght-Aliabadi, M., Feizabadi, A., Nouri, M. (2021) Design of novel geometries for minichannels to reduce junction temperature of heat sinks and enhance temperature uniformity, *Applied Thermal Engineering*, 192, 116926.
- Khoshvaght-Aliabadi, M., Abbaszadeh, A., Rashidi, M.M. (2022) Comparison of co- and counter-current modes of operation for wavy minichannel heat sinks (WMHSs), *International Journal of Thermal Sciences*, 171, 107189.
- Lin, L., Zhao, J., Lu, G., Wang, X.D., Yan, W.M. (2017) Heat transfer enhancement in microchannel heat sink by wavy channel with changing wavelength/amplitude, *International Journal of Thermal Sciences*, 118, 423-434.
- Mahmood, H., Freegah, B., Faik, A.M.E.D., Saleh, Q. (2024) Optimizing minichannel heat sink design: a combined numerical and experimental analysis of inlet/outlet configurations and pin fin enhancements, *Heat Transfer*, 54(3), 1921-1939.
- Mohammed, H.A., Gunnasegaran, P., Shuaib, N.H. (2011) The impact of various nanofluid types on triangular microchannels heat sink cooling performance, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 767-773.
- Mozafari, M., Lee, A., Mohammadpour, J. (2021) Thermal management of single and multiple PCMs based heat sinks for electronics cooling, *Thermal Science and Engineering Progress* 23, 100919.
- Nabi, H., Gholinia, H., Khiadani, H., Shafieian, A. (2023) performance enhancement of photovoltaic-thermal modules using a new environmentally friendly paraffin wax and red wine-rGO/H₂O nanofluid, *Energies*, 16(11), 4332.
- Pak, B.C., Cho, Y.I. (1998) Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, 11, 151-170.
- Rabby, M.I.I., Masuri, S.U., Kaniappan, L., Loulou, T., Islam, A.S. (2021) Effect of water based nanofluids on laminar convective heat transfer in developing region of rectangular channel, *CFD Letters*, 11(12), 74-87.
- Shen, Y-T., Dai, Y-B., Lu, J-X., Zhou, R., Chen, H., Cheng, W-L. (2025) Experiment on enhanced heat transfer of embedded manifold Tesla-patterned microchannel heat sink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 165, 109050.
- Siahchehrehghadikolaei, S., Ghadikolaei, S.S., Gholinia, M., Ahmadi, G. (2025) application of CNTS/H₂O nanofluid and the wavy fin with dimples in thermal management of CPU: a numerical modeling of hybrid passive cooling, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 86(18), 6545-6562.

- Sohel, M.R., Khaleduzzaman, S.S., Saidur, R., Hepbasli, A., Sabri, M.F.M., Mahbubul, I.M. (2014) An experimental investigation of heat transfer enhancement of a minichannel heat sink using $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanofluid, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 74, 164-172.
- Toprak, B.İ., Baghaei Oskouei, S., Bayer, Ö., Solmaz, İ. (2022) Experimental and numerical investigation of a novel pipe-network mini channel heatsink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 136, 106212.
- Vasilev, M.P., Abiev, R.S., Kumar, R. (2021) Effect of circular pin-fins geometry and their arrangement on heat transfer performance for laminar flow in microchannel heat sink, *International Journal of Thermal Sciences*, 170, 107177.
- Wang, Y., Zhu, K., Cui, Z., Wei, J. (2019) Effects of the location of the inlet and outlet on heat transfer performance in pin fin CPU heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 151, 506-513.
- Xia, G.D., Liu, R., Wang, J., Du, M. (2016) The characteristics of convective heat transfer in microchannel heat sinks using Al_2O_3 and TiO_2 nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 256-264.
- Xu, M., Lu, H., Gong, L., Chai, J.C., Duan, X. (2016) Parametric numerical study of the flow and heat transfer in microchannel with dimples,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 348-357.
- Yang, S., Cao, B., Wu, Z., Hong, S., Xu, H., Sheng, K. (2026) Experimental study of a SiC manifold microchannel heat sink under background and hotspot heating scenarios at ultra-high heat flux, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 254, 127657.

MİKRO KANAL ISI EMİCİLERİN ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜŞÜ ANALİZİ

Prof. Dr. Koray Karabulut

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu/
Elektrik ve Enerji Bölümü
Sivas/Türkiye
kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-5680-0988

Doç. Dr. Yeliz Alnak

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi/Teknoloji Fakültesi/İmalat Mühendisliği Bölümü
Sivas/Türkiye
ytas@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0003-4383-3806

ÖZET

Mikro kanal ısı emiciler (MKIE), üstün taşınım ısı transferi kabiliyetleri, sahip oldukları asgari basınç düşüşü ve yüksek verimlilikleri sayesinde kullanıldıkları cihazlarda yüksek ısı akısını minimize etmek ve böylece güvenli sıcaklık sınırları içerisinde kalmalarını sağlamak için son derece etkili bir çözümdür. Bu ısı emicilerin yüksek ısı transferi-minimum basınç düşüşü performanslarının iyileştirilmesi, yüksek ısı transferi gereksinimlerinin karşılanması için bir gerekliliktir. Bu çalışmada, sayısal olarak mikro kanal ısı emicilerinde bölüntülü akış kanalı yapısının, çoklu mikro kanallı ısı emici modelleri göz önünde bulundurularak ısı transferi ve basınç düşüşü performansları üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Sayısal hesaplama, üç boyutlu, sürekli ve laminar akış şartlarında süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Çalışmada soğutucu akışkan olarak 300 K kanal giriş sıcaklığında sıkıştırılamaz su ve %2 hacimsel konsantrasyona sahip Elmas-su nanoakışkanı kullanılmıştır. İncelenen farklı MKIE modellerinden geleneksel model olan Model 1 ile farklı bölüntülü akış yollarına sahip yenilikçi bir model olan Model 2 kıyaslanarak verimlilikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bakır plakadan oluşan MKIE'nin tabanına 20.000 W/m^2 olarak belirlenen sabit ısı akısı uygulanırken, soğutma sıvısı olarak kullanılan su ve Elmas-su nanoakışkanının kanala giriş akış hızları $0,002 \text{ kg/s}$ ile $0,0045 \text{ kg/s}$ arasında $0,0005 \text{ kg/s}$ 'lik adımlarla değişmektedir. Bakır ısı emici plakanın üst ve yan kısımları yalıtılmış olup yalnızca alt kısmından ısı akısı uygulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları bulunmuştur. Sonuçlar, $0,0035 \text{ kg/s}$ akış hızında su akışkanı kullanılan Model 1 MKIE kanalı için Nu_{ort} değerinin Model 2'den %23,80 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Ayrıca, $0,0045 \text{ kg/s}$ akış hızında Model 2 için Elmas-su nanoakışkanı kullanılması durumunda Model 1'e göre basınç kaybı %54,40 daha fazla olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikro kanal ısı emici, Bölüntülü kanal, Elmas-su nanoakışkanı, Isı transferi

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN MICRO-CHANNEL HEAT SINKS

ABSTRACT

Microchannel heat sinks (MCHS) are a highly effective solution for minimizing high heat flux in the devices where they are employed-thereby ensuring operation within safe temperature limits-thanks to their superior convective heat transfer capabilities, minimal pressure drop, and high efficiency. Improving the high heat transfer and minimum pressure drop performance of these heat sinks is essential to meet high heat transfer requirements. This study aims to numerically investigate the effects of a segmented flow channel structure on the heat transfer and pressure drop performance of microchannel heat sinks, considering multi-microchannel heat sink models. Numerical computation has been performed by solving the continuity, momentum, and energy equations under three-dimensional, steady, and laminar flow conditions using the Ansys-Fluent software. In the study, incompressible water and a diamond-water nanofluid with a 2% volumetric concentration were used as the working fluid at a channel inlet temperature of 300 K. Among the various MCHS models examined, efforts have been made to improve efficiency by comparing Model 1- the traditional model - with Model 2, an innovative model featuring flow paths with distinct partitions. While a constant heat flux of 20,000 W/m² has been applied to the base of the copper-plate MCHS, the inlet mass flow rates of the cooling fluids - water and diamond-water nanofluid - are varied between 0.002 kg/s and 0.0045 kg/s in increments of 0.0005 kg/s. The top and sides of the copper heat sink plate are insulated, and heat flux is applied only from the bottom. The obtained results have been compared with experimental and numerical results from the literature and found to be consistent with them. The results have been showed that, for the Model 1 MCHS channel using water as the working fluid at a mass flow rate of 0.0035 kg/s, the Nu_{ort} value is 23.80% higher than that of Model 2. Furthermore, when the diamond-water nanofluid is used for Model 2 at a flow rate of 0.0045 kg/s, the pressure loss is 54.40% higher than that of Model 1.

Keywords: Microchannel heat sink, Segmented channel, Diamond-water nanofluid, Heat transfer

1. GİRİŞ

Elektronik teknolojilerindeki hızlı ilerlemeyle birlikte modern elektronik cihazlar, taşınabilirlik ve artan işlem gücü talebine yanıt olarak giderek daha fazla minyatürleşme ve daha fazla entegrasyon yönünde ilerlemektedir (Feng ve ark., 2020). Bu eğilim, araştırmacıları ve tasarımcıları, artan performans ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla daha fazla minyatürleştirilmiş elektronik bileşen ürünlerini entegre etmeye yöneltmiştir. Ancak, bu gelişme cihaz boyutlarının

küçülürken güçlerinin artmasının, birim alan başına ısı akısında önemli bir artışa yol açması nedeniyle termal yönetimde artan bir zorluğu da beraberinde getirmiştir. Bu ısıнын etkili ve hızlı bir şekilde dağıtılmaması durumunda, çalışma sıcaklıkları kritik sınırları aşacak ve bu da performansı ve güvenilirliği olumsuz yönde etkileyebilecektir (Mozafari ve ark., 2021). Hidrotermal ısı emicilerin termal performansını artırmak için çeşitli pasif ve aktif yaklaşımlar kullanılarak birçok hesaplamalı ve deneysel araştırmalar yapılmıştır. Bu çözümlerden bazıları giriş ve çıkış tasarımlarını (Al-Hasani ve Freegah, 2022; Chein ve Chen, 2009), çeşitli konfigürasyonlara sahip genişletilmiş yüzeylerin (kanatçıkların) kullanımını (John ve ark., 2010; Babar ve Ali, 2019; Hosseinirad ve ark., 2019; Vasilev ve ark. 2021), kanal biçimlerini (Gunnasegaran ve ark., 2010) ve soğutucu katkı maddelerinin kullanımını (Sohel ve ark., 2014; Xia ve ark., 2016; Rabby ve ark., 2021) içermektedir. Birçok bilim insanı, bir optimizasyon stratejisi olarak değişen dalga boyları ve genliklere sahip dalgalı bir kanalın (Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2016; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2022; Lin ve ark., 2017; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2021) yanı sıra bir yakınsama-ıraksama kanalının (Gong ve ark., 2011; Xu ve ark., 2016) kullanımını araştırmıştır. Toprak ve ark. (2022), tüp benzeri ağ tasarımına sahip bir mini kanal ısı emici (MCHS) üzerinde deneysel ve sayısal bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, kare tasarımın termal verimlilik katsayısı açısından genel olarak en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Shen ve ark., (2025), Tesla desenli mikrokanal, pim kanatlı mikrokanal ve dikdörtgen mikrokanal ısı emicilerinin ısı transferi ve akış özelliklerini farklı çalışma koşulları altında karşılaştırmak ve analiz etmek amacıyla deneyler gerçekleştirilmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre diğer iki mikrokanal ısı emiciye kıyasla, Tesla desenli mikrokanal ısı emicinin ekstra 150 W/cm^2 ısı akısını dağıtabildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, gömülü çoklu Tesla desenli mikrokanalın gelişmiş ısı transferinin, çalışma sıvısının duvar yüzeyine birden fazla kez çarpmasına neden olan kavisli yapısına bağlamışlar ve bunun da sınır tabakasını bozarak, çalışma sıvısının geri akışını engellediğini bulmuşlardır. Yang ve ark., (2026), çalışmalarında çok yüksek yüksek ısı akılarında verimli arka plan ve sıcak nokta soğutması için silisyum karbür (SiC) çok kanallı mikrokanallı bir ısı emicinin performansını deneysel olarak araştırmışlardır. $15 \text{ }\mu\text{m}$ genişliğinde ve $100 \text{ }\mu\text{m}$ derinliğinde bir mikrokanal dizisi, plazma aşındırma yöntemi kullanılarak yüksek termal iletkenliğe sahip bir SiC alt tabakada üretilmiştir. Soğutucu olarak tek fazlı deiyonize su kullanılmış ve mikrokanal ısı emicinin performansı değişen arka plan ve yerel sıcak nokta ısı akısı koşulları altında değerlendirilmiştir. SiC çoklu mikrokanal ısı emici, $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 'lik bir alanda 3190 W/cm^2 'lik bir arka plan ısı akısını yalnızca 32 kPa 'lık bir basınç düşüşüyle başarıyla emebilmiş ve $100 \times 100 \text{ }\mu\text{m}^2$ 'lik bir alanda $12,0 \text{ kW/cm}^2$ 'lik yerel bir sıcak nokta ısı akısını ortadan kaldırırken, sıcak noktanın sıcaklık artışını $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında tutabilmeyi başarabilmiştir. Ge ve ark., (2022), modern mikro boyutlu bir ısı emici ile donatılmış sıvı soğutmalı bir CPU'nun termal-hidrolik performansını değerlendirmişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarını bir algoritmayla birleştirerek, farklı boyutlarda kanatçıklara sahip bir ısı emiciyi optimize etmeyi önermişlerdir. Sonuçlar, bu optimizasyonun ısı transfer kapasitesini önemli ölçüde artırdığını ancak aynı zamanda gerekli pompalama gücünde de artışa yol açtığını göstermiştir.

Kanal konfigürasyonunun, çok kanallı bir ısı emicisinde akışkan akışı ve ısı iletimi üzerindeki etkisi Ghadhbani ve Jaffal (2023) tarafından incelenmiştir. Ulaştıkları bulguları, kanal

tasarımındaki son değişikliğin geleneksel düz kanala kıyasla ısı transfer verimliliğini artırdığını göstermiştir. Dalgalı kanal için ise Nu sayısındaki en büyük artışın %30,5 olduğu tahmin edilmektedir. Wang ve ark., (2019), farklı kanal konfigürasyonlarını (yamuk, üçgen ve dikdörtgen) ve ayrıca giriş ve çıkış kombinasyonlarını (I, C ve Z tipleri) simüle etmek için sonlu hacim yönteminden yararlanmışlardır. Dikdörtgen giriş ve çıkışa sahip dikdörtgen başlıklı modeli, sürekli ve tutarlı bir hız sağlaması ve ısıyı da diğerlerine göre daha iyi iletmesi nedeniyle en pratik model olarak seçmişlerdir. Modellerin her birinde ortada dikey bir giriş ve bir, iki veya dört çıkış noktası bulunmaktadır. Sonuçlar, dört çıkışlı model konfigürasyonunun en yüksek kaliteye ve en düşük akış direncine sahip olduğunu göstermiştir. Siahchehrehghadikolaei ve ark. (2025), karbon nanotüpler/H₂O nanoakışkan uygulaması ve dalgalı kanatlı çukurlar kullanarak CPU'nun (bilgisayar işlemcisi) termal yönetimini iyileştirmek için hibrit pasif soğutmanın sayısal bir simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Termal etkiyi ve soğutma gücünü iyileştirmek için, delikli nozullara sahip bir palet bıçağı ve farklı konsantrasyonlarda titanyum oksit nanoparçacıkları, bir CFD programı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır (Gholinia ve ark., (2022)). Nabi ve ark. (2023), termal-fotovoltaik modüllerin performansını artırmak için yeni, çevre dostu kırmızı şarap-rGO/H₂O nanoakışkanı ve parafin mumu kullanmışlardır. Termal ve hidrolik performansın özelliklerini yenilikçi bir köpekbalığı ölçeğinde yüzgeç geometrisi tasarımı kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir (Ghouchi ve ark., (2024)).

Isı emicilerin termal performansı üzerine yapılan kapsamlı çalışmalara rağmen, akış bölünmesinin akışkan akış davranışı ve ısı transfer özellikleri üzerindeki etkisi çok az dikkate alınmıştır. Mevcut araştırmaların çoğu, termal performansı iyileştirmek için kanal şeklini, kütle akış hızını ve uygulanan ısı akışını ayarlamaya odaklanmaktadır. Ancak, bu iyileştirmeler çoğunlukla büyük bir basınç düşüşüne yol açmakta ve bu da hidrolik verimlilik üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu çalışmada ise, MKIE (mikro kanal ısı emici) içindeki kanal şeklini tanıyarak sıvı dağıtım yüzey alanını ve ısı yayılımının homojenliğini artırmak ve böylece kabul edilebilir bir basınç düşüşünü korurken; genel termal verimliliği yükseltmek amaçlanmaktadır. Bu kısıtlamayı gidermek için de bu çalışmada iki yeni MKIE konfigürasyonu sunulmakta ve akış bölünmesinin hidrotermal performans üzerindeki etkisinin kapsamlı bir analizi gerçekleştirilmektedir. Modeller geleneksel çok kanallı mini soğutucular olup, karşılaştırılan temel model olan Model 1, girişten çıkışa doğru akış yönünde ilerleyen boylamasına bölüntülerden oluşurken, Model 2, akışkan kanal girişinden itibaren enlemesine bölünmüş bölüntüler arasından dağılıp, kanal çıkış bölümüne doğru hareketini sürdürmektedir. Ayrıca, akışkan olarak su haricinde ısı iletkenliklerinin daha iyi olduğu %2 hacimsel konsantrasyonlu Elmas-su nanoakışkanı kullanılmıştır.

2. SAYISAL MODELLEME

Isı emicinin hem termal hem de hidrolik kapasite açısından etkinliğini belirlemek için, CFD sayısal simülasyonunda üç farklı model oluşturulmuştur. SIMPLE yöntemi, hız ve basıncı birleştirmek için yönetim denklemlerinde kullanılırken, momentum ve enerji denklemleri ikinci

dereceden sayısal bir yöntem kullanılarak uygulandı. Kanaldaki taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır. Ayırıklaştırma yöntemi olarak momentum denklemleri için “Second Order Upwind” yöntemi tercih edilmiştir. Sayısal çözümlerin yakınsaması için yakınsama kriteri momentum denklemi için 10^{-6} ve enerji denklemi için 10^{-7} olarak alınmıştır.

MKIE (mikro kanal ısı emici) modeli, birbirinden izole edilmiş iki ayrı hesaplama alanına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan katı bakırın termofiziksel özellikleri ise şunlardır: 385 J/(kgK) özgül ısı, 401 W/(mK) ısı iletkenlik ve 8933 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Çok miktarda sıvı içeren bölge, soğutma işlemi sırasında ısıyı taşınım yoluyla aktarmaktan sorumludur. Katı bölge, akış yönüne göre değişen şekilde çok sayıda kanatçıktan, katı duvarlardan ve ısınan bir tabandan oluşmaktadır. Çok miktarda sıvı içeren bölge ise MKIE kanalı içinde sıvıların hareketi için kullanılır. Sınır koşullarının doğruluğu, simülasyon yöntemini önemli ölçüde etkileyebilir. Tekrarlanabilir ve geçerli sonuçlar elde etmek için, sınırlar, kabul görmüş fiziksel prensiplere uygun olarak tanımlanmalı ve uygulanmalıdır. Akış ve ısı transferi alanlarının sınırları genellikle akışkanın derinliği veya sıcaklığı tarafından belirlenir. Şekil 2, hesaplama alanının ve sınır koşullarının şematik taslaklarını göstermektedir.

Kritik sınır koşullarından biri, tabana uygulanan ve 20.000 W/m² olarak belirlenen ısı akısıdır. Soğutma sıvısı esas olarak alanın içine girerken 300 K (27°C) sıcaklığa sahip saf sudan ve Elmas-su nanoakışkanından oluşmaktadır. Laminer akış koşulu, kullanılmıştır. Kütle boyunca tipik akış hızı 0,002 kg/s ile 0,0045 kg/s arasında 0,0005 kg/s'lik adımlarla değişmektedir. Kanalin çıkışında, sıfır basınç koşulu ($P_{out} = P_{atm}$) uygulanmaktadır. Bakır ısı emici plakanın üst ve yan kısımları, yalıtılmış olup yalnızca alt kısmından ısı uygulanmaktadır. Akışkan, üst kısımdan kanala giriş yaparken alt taraftan ise çıkış yapmaktadır. Görsel 1’de sırasıyla Model 1 ve Model 2’nin geometrik yapıları ve bu yapılar üzerinde de kanal ve bölüntü kanatçıklarının ölçüleri verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan her bir ısı emicinin temel boyutları; 5 mm yükseklik, 86 mm genişlik ve 100 mm uzunluktur. Her bir kanalın genişliği 4 mm, yüksekliği 2 mm’dir ve kanallar arasındaki kanatçık kalınlığı 2 mm’dir. Akışkan kanallardan akarken, giriş sıcaklığı 300 °C olup, bakır tabakadan açığa çıkan ısı akışkan sıcaklığının artmasına neden olur.

Buna göre analiz aşağıdaki varsayımsal gerçeklere dayanmaktadır:

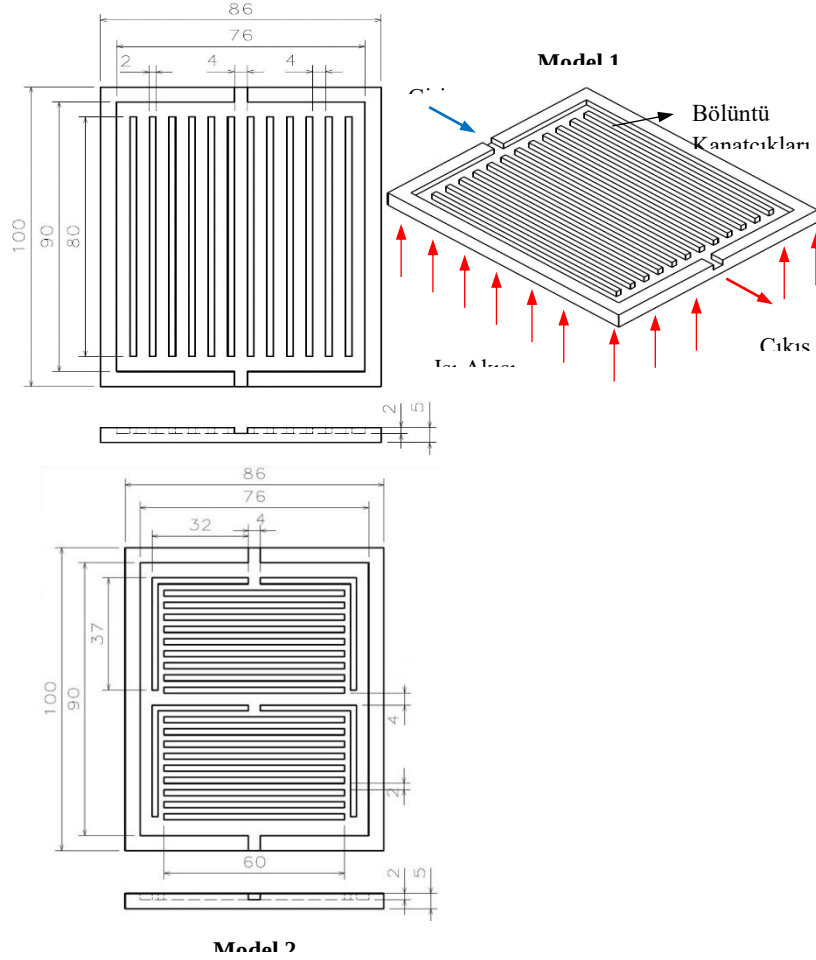
Sıvının hareketi kararlı ve doğrusaldır.

Akış, tek fazlı ve üç boyutludur.

Kanalda zorlanmış taşınım ile ısı transferi söz konusudur.

Isı emicilerin tabanı sabit bir ısı akışına maruz kalırken, diğer tarafları tamamen yalıtılmıştır.

Radyasyonla ısı transferi mekanizması, analizde önemsiz bir rol oynadığı düşünüldüğü için dikkate alınmamıştır.



Görsel 1. Modellerin geometrik yapı ve ölçüleri

Analiz için aşağıdaki korunum denklemleri, önceki varsayımların önerdiği gibi, (Hosseinirad ve ark., (2019); Khoshvaght-Aliabadi ve ark., (2022); Lin ve ark., (2017); Ammar ve ark.,(2025))'te verilen formüller kullanılarak geliştirilmiştir. Kütle korunumunu açıklayan süreklilik denklemi, aşağıdaki formülle verilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Akışkan içindeki doğrusal momentumun korunumu için hareket eşitliği şu şekilde yazılır:

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Burada ρ , p ve μ_f sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu, basıncını ve dinamik viskozitesini ifade etmektedir.

Isı enerjisinin korunumu prensibini açıklayan enerji eşitliği şöyledir:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

ρ_f ve $c_{p,f}$ değişkenleri sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu ve özgül ısı kapasitesini gösterirken, yerel sıcaklık T 'dir.

Katı haldeki ısı iletimi yoluyla tüketilen enerjinin eşitliği şöyledir:

$$k_s \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (6)$$

Burada k_s , ısı emici malzemenin özgül termal iletkenliğini temsil eder.

MKID aracılığıyla soğutucu tarafından emilen ısı enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, (2019)):

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T_s = h A_{etkin} (T_{b,ort} - T_{f,ort}) \quad (7)$$

Birim alan başına aktarılan ısı miktarı şu eşitlikle hesaplanır ((Chamanroy, Z., Khoshvaght Aliabadi, (2019); Imran ve ark., (2018)):

$$h = \frac{\dot{m} c_p \Delta T_s}{A_{etkin} (T_{b,ort} - T_{f,ort})} \quad (8)$$

Burada $\dot{m}$, c_p ve ΔT_s sırasıyla soğutucunun ortalama kütle akış hızını, özgül ısısını ve soğutucunun sıcaklık farkını temsil etmektedir. A_{etkin} , $T_{b,ort}$ ve $T_{f,ort}$ ise sırasıyla sıvının temasta olduğu yüzey alanını, akışkanın ortalama sıcaklığını ve akışkanın film sıcaklığını ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$T_{f,ort} = \frac{T_{f,giriş} + T_{f,çıkış}}{2} \quad (9)$$

$$Nu_{ort} = \frac{hD_h}{k_f} \quad (10)$$

Burada h , D_h ve k_f sırasıyla ortalama ısı transfer katsayısını, kanalın hidrolik çapını ve soğutucunun termal iletkenliğini ifade etmektedir.

Hidrolik çap aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (11)$$

A , kanalın kesit alanını temsil eder ve P , kanalın ıslak çevresinin uzunluğudur.

Kanal boyunca basınç düşüşü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır

$$\Delta p = \frac{f \rho D_h}{2} V^2 \quad (12)$$

Bu eşitlikte, Δp kanalın giriş ve çıkışı arasındaki basınç düşüşü, f sürtünme faktörü ve V ise akışkanın kanaldaki ortalama hızını temsil etmektedir.

Reynolds sayısını hesaplamak için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_h \mu} \quad (13)$$

Çalışmada kullanılan nanoakışkanın termofiziksel özellikleri literatürde de sıklıkla kullanılan ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmakta ve bu eşitliklere göre bulunan değerler Çizelge 1’de sunulmaktadır.

Nanoakışkanın yoğunluğu (Mohammed ve ark., (2011))

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{nf} + \varphi\rho_{np} \quad (14)$$

Nanoakışkanın ısı kapasitesi (Mohammed ve ark., (2011))

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \varphi)(\rho c_p)_w + \varphi(\rho c_p)_{np} \quad (15)$$

Nanoakışkanın ısı iletkenliği (Mohammed ve ark., (2011))

$$k_{nf} = \frac{k_{np} + 2k_w + 2(k_{np} - k_w)\varphi}{k_{np} + 2k_w - 2(k_{np} - k_w)\varphi} k_w \quad (16)$$

Nanoakışkanın viskozitesi (Mohammed ve ark., (2011))

$$\mu_{nf} = \mu_w(1 + 2.5\varphi) \quad (17)$$

Bu eşitliklerde, φ ve ρ_{np} sırasıyla nanoakışkanın konsantrasyonunu ve katı halde nanoparçacığın yoğunluğunu belirtirken, c_p özgül ısıyı göstermektedir. nf ve np ise sırasıyla nanoakışkan ve katı nanoparçacığı temsil etmektedir.

Çizelge 1. Su ve nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (300 K)

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	μ (Ns/m ²)
Su	0,613	998,2	4182	0,001003
Elmas-su nanoakışkanı	0,65046	1048,436	3935,28	0,00105315

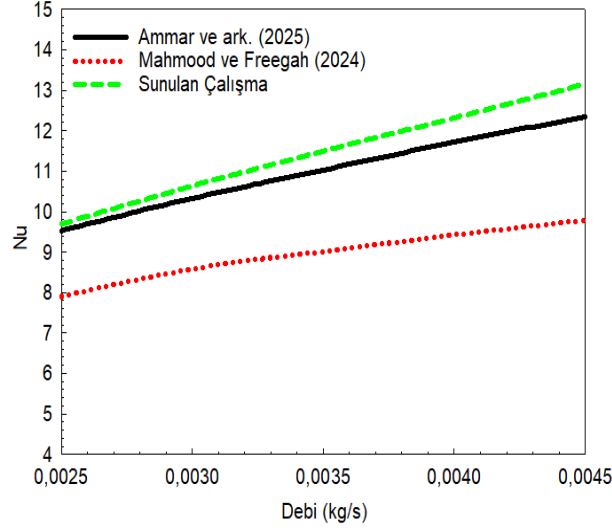
3. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Sayısal sonuçları doğrulamak ve bunların mevcut literatürle tutarlılığını göstermek amacıyla geleneksel model olan Model 1 için bu çalışmanın bulguları, önceki araştırmaların sayısal (Ammar ve ark. (2025) ve deneysel (Mahmood ve Freegah (2024)) ortalama Nu sayısı bulgularıyla Görsel 2’de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Her ne kadar bu çalışma ile literatür arasında Nu sayısı değerlerinde farklılıklar olsa da bu tutarsızlıklar, esas olarak sayısal çalışmadaki ağ sayısı sıklığının farklılığından ve sayısal çalışmada çalışmayı basitleştirmek amacıyla yapılan kabullerin deneysel çalışmada tam olarak karşılanamamasından kaynaklı farklılıklardan oluşmaktadır. Buna rağmen, çalışmanın sonuçları kabul edilebilir sınırlar dahilinde olup birbirlerine oldukça yakındır ve bu nedenle çalışmanın doğru ve kabul edilebilir olduğu söylenebilir.

3.1. Sonuçların Ağ Sayısından Bağımsızlığının Karşılaştırılması

Bu araştırmada yer alan tüm modellerde, sıvı ve katı alanlar dahil olmak üzere, tetrahedral (düzgün dört yüzlü) ağ yapısı kullanılmıştır. Sayısal doğruluk üzerinde ağ elemanı sayısının önemli etkisi göz önüne alındığında, çözümde yakınsama sağlanana kadar eleman boyutu kademeli olarak azaltılarak ağ optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve bu noktadan sonra ek optimizasyon sonuçlarda anlamlı bir değişikliğe yol açmamıştır. Hesaplama verimliliğini artırmak için sonuç doğruluğunu korurken, simülasyon süresini azaltmak amacıyla uygun

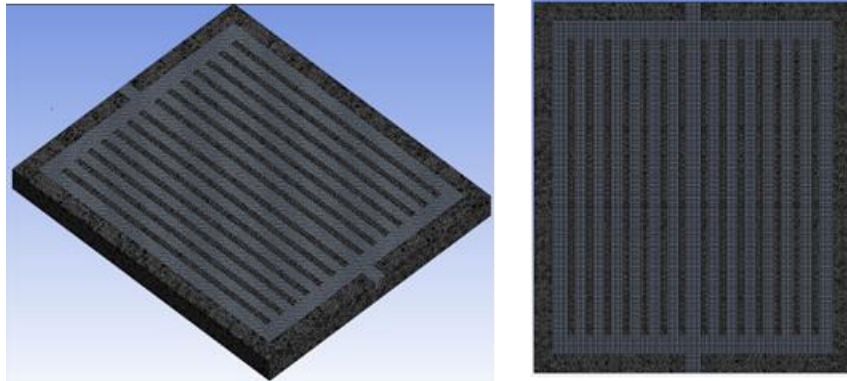
olduğunda kasıtlı olarak ince ağlar kullanılmıştır. Geleneksel model için (Model 1) su akışkanı kullanılarak yapılan analizlerde Çizelge 2’de görüldüğü gibi ağ sayısının 1773148 adetten daha fazla artırılmasının hem Nu sayısı hem de basınç düşüşü değerlerinde belirgin bir artışa neden olmadığı ve bu sebeple 1773148 adet ağ sayısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışmada düzgün dörtyüzlü ağ yapısının şekli Model 1 için Görsel 3’de gösterilmektedir.



Görsel 2. Sonuçların literatürdeki sayısal ve deneysel çalışmalarla karşılaştırılması

Çizelge 2. Kütleli akış debisi ve ağ sayısına göre Nu sayısı ve basınç düşüşü değerleri

Ağ Sayısı	ṁ (kg/s)=0.0025		ṁ (kg/s)=0.0035		ṁ (kg/s)=0.0045	
	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)
509570	8,54	151,42	9,84	265,47	12,45	394,41
1295790	8,75	153,44	10,24	268,79	13,47	414,25
1773148	9,70	154,41	11,50	275,43	14,15	424,11
2049112	9,70	154,42	11,50	275,42	14,14	424,12



Görsel 3. Model 1 için çalışmada kullanılan ağ yapısı görseli

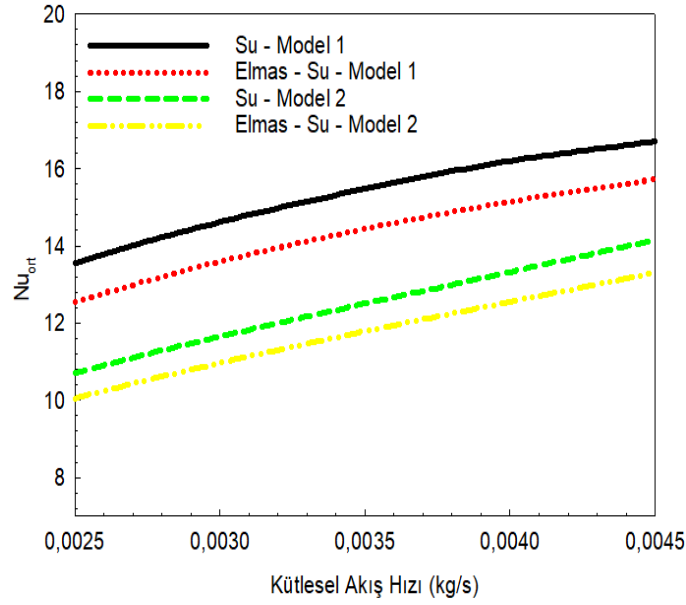
4. İNCELEME SONUÇLARI

Görsel 4’de debiye bağlı olarak geleneksel model olan Model 1 ve farklı bölüntü tasarımıyla geliştirilen ve özgün model olan Model 2 tarafından oluşturulan farklı MKIE (Mikro kanal ısı emici) tasarımlarındaki ortalama Nu_{ort} sayısının (Nu_{ort}), su ve %2 hacimsel konsantrasyonlu Elmas-su nanoakışkanı kullanılmasıyla değişimleri sunulmaktadır. Kütsel akış hızı arttıkça akışkan hızı yükselmekte ve buna bağlı olarak bölüntülü kanaldaki akışkanın karışması iyileşmektedir. Böylece, ısı transfer yüzeyine yakın termal sınır tabakasının kalınlığı azalırken, kanal duvarına yakın sıcaklık değişimi iyileşmekte ve daha yüksek ısı transfer katsayısına ulaşılabilir. Bu nedenle, Nu_{ort} değerleri her iki MKIE ve akışkan türü için de artmaktadır. Ayrıca, kanalın bölüntülü olarak tasarlanması kanal içerisinde akışkanın ısı emici yüzeyle etkileşimini artırarak taşınım ısı transfer katsayısını ve dolayısıyla ısı transfer performansını iyileştirmektedir. Genel olarak, tüm modeller için su akışkanının kullanıldığı MKIE’leri için özellikle akış hızının artırılmasıyla daha yüksek Nu_{ort} sayısı değerleri elde edildiği görülmektedir. Bu duruma, nanoakışkanın viskozite değerinin az da olsa suya göre daha yüksek olmasının neden olduğu söylenebilir. Model 2’de ve 0,0045 kg/s akış hızında Elmas-su nanoakışkanı için elde edilen Nu_{ort} değeri, su akışkanına göre %6,35 daha azdır. Bununla birlikte, kanal bölüntüsünün daha fazla olduğu Model 2 için ulaşılan Nu_{ort} değerleri geleneksel modelden daha düşük olmaktadır. Çünkü, kanalın enlemesine oluşturulan model bölüntüleri akışa karşı direnç oluşturarak kanallar arasındaki akış serbestliğini olumsuz olarak etkilemektedir. 0,0035 kg/s akış hızında su akışkanı kullanılan Model 1 için Nu_{ort} değeri, Model 2’den %23,80 daha fazla olmaktadır.

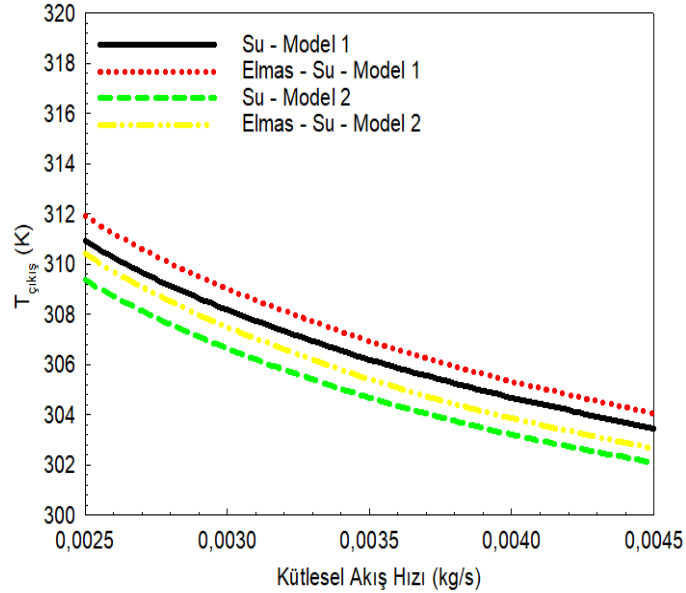
Farklı akış hızlarına sahip mikro kanal ısı emicilerindeki (MKIE) akışkanların kanaldan çıkış sıcaklık değerleri ($T_{çıkış}$) Görsel 5’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir. MKIE’lerindeki bölünmüş kanallarda ısı transferindeki akışkanların daha fazla akış yolundan geçerek kanal içerisinde kalması, akışkana olan ısı transferini artırarak kanaldan çıkış sıcaklığının daha fazla olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, her ne kadar bölüntülü MKIE kanallarında nanoakışkanın viskozitesi nedeniyle su akışkanına göre hareket hızı kısıtlaması dolayısıyla daha düşük ısı transfer katsayıları elde edilse de kanallarda bakır ısı plakası ile daha uzun süre temasta olması nanoakışkanın her iki model için de daha yüksek çıkış sıcaklık değerlerine ulaşılmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, kütsel akış hızının artışı akışkanların sıcaklık artışında etkin olan iletimle ısı geçişi direncini artırdığı için çıkış sıcaklık değerlerinin azalmasına sebep olmaktadır.

Kütsel akış hızlarına göre MKIE kanalları boyunca farklı akışkan tipleri için basınç düşüşleri Görsel 6’da gösterilmiştir. Akış hızı arttıkça yüksek hızın kanal duvarları boyunca daha fazla sürtünme kaybına ve ayrıca akışkan katmanları ve kanal yüzeyi arasında viskoz sürtünme ve kayma kuvvetlerine neden olmasından dolayı basınç düşüşü artmaktadır. Bu durum da akışın devam etmesi için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Ayrıca, daha yüksek hızlar akışta türbülansa neden olarak enerji kayıplarının ve basınç düşüşünün artmasına katkıda bulunmaktadır. Görsel 6 incelendiğinde, kanal içerisinde akış bölüntü yapılarına bağlı olarak en yüksek basınç düşüşü değerlerinin Model 2’de her iki akışkan tipi için de elde edildiği görülmektedir. Bununla birlikte, en az basınç kaybı Model 1 için elde edilirken, su akışkanının nanoakışkana göre bölüntülerin akış hareketini her ne kadar nanoakışkanın viskoz etkileri daha

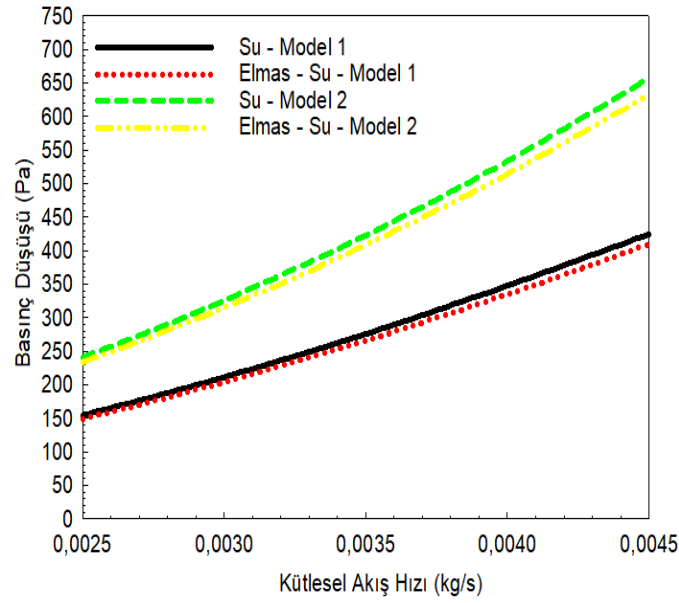
fazla olsa da birbirlerine yakın değerlerde olmakla birlikte akış hızı arttıkça bir miktar daha fazla olarak her iki MKIE tipi için de daha fazla basınç düşüşü değerlerine neden olduğu görülmektedir. 0,0045 kg/s akış hızında Model 2 için Elmas-su nanoakışkanı kullanılması durumunda Model 1'e göre basınç kaybı %54,40 daha fazla olmaktadır.



Görsel 4. Ortalama Nu sayısının farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için değişimi



Görsel 5. Kanaldan çıkış sıcaklığının ($T_{cıkış}$) farklı MKIE kanalları ve



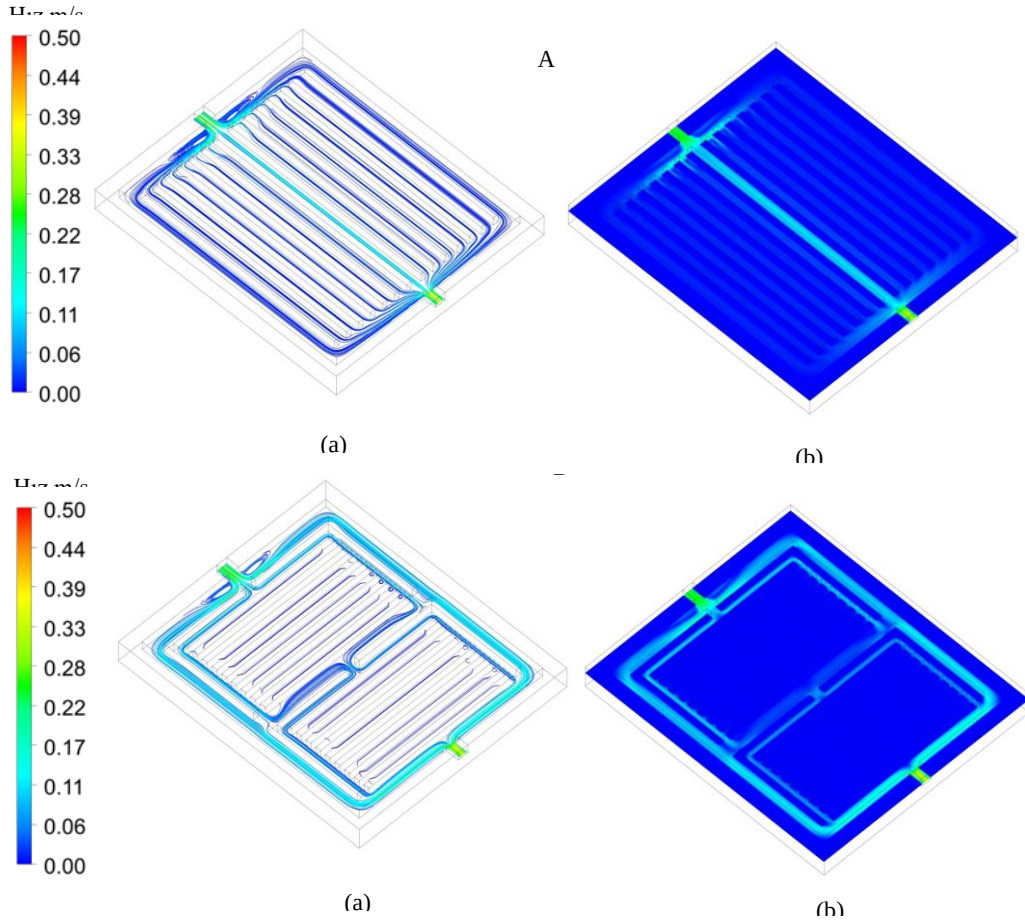
Görsel 6. Basınç düşüşünün farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için değişimi

0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızlarında mikro kanal ısı emicileri olan A-Model 1 ve B-Model 2 için Elmas-su nanoakışkanının (a) akım çizgisi konturu ve (b) hız konturu dağılımları sırasıyla Görsel 7 ve 8’de gösterilmektedir. Geleneksel model olan Model 1 için her iki kütle akış hızında da akışkan, ayrılmış bölmeler boyunca kanal çıkışına doğru hareket etmekte ve daha dirençsiz akış yolu olan doğrudan karşı taraftaki çıkışa doğru hareketini sürdürmektedir. Bu durum, hız konturu dağılımlarından da kolaylıkla görülebilmektedir. Model 2’de ise akışkan kanal girişinden itibaren enlemesine bölünmüş bölüntüler arasında dağılıp, kanal çıkış bölümüne doğru hareketini sürdürmektedir. Model 2’de oluşturulan bölüntüler, akışın akış yönüne ters olduğundan akış çoğunlukla MKIE’nin etrafından dolaşmaktadır. Akış hızı 0,004 kg/s’ye çıkarıldığında ise bölüntüler etrafındaki akışkan hareketi hızlanarak enerji transferine daha çok katkıda bulunması sağlanabilmektedir.

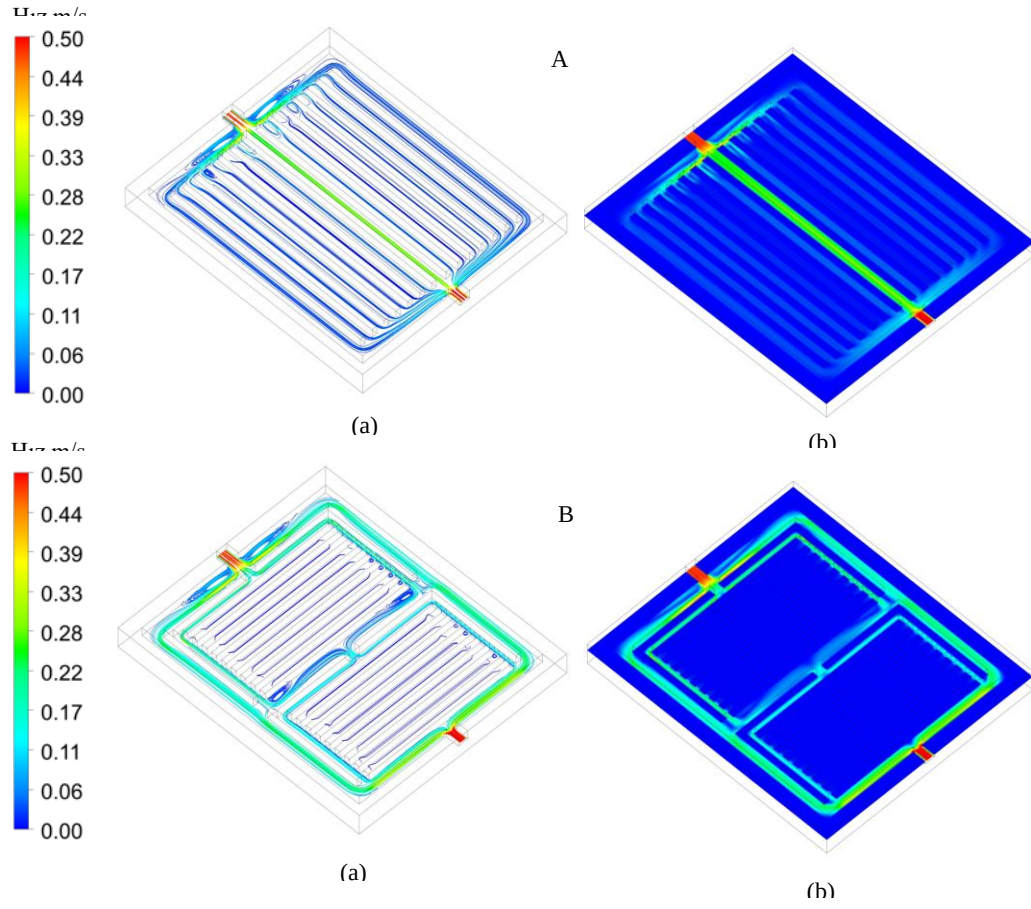
Görsel 9A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s akış hızlarında farklı bölüntü tasarımı mikro kanal ısı emici (MKIE) modelleri olan (a)-Model 1 ve (b)-Model 2 için Elmas-su nanoakışkan kullanılması durumunda sıcaklık konturu dağılımları sunulmaktadır. 300 K sıcaklıklı nanoakışkan kanala giriş yaptığı anda ısınmış bakır plaka ile akışkan arasındaki sıcaklık farkı en fazla olduğundan sıcaklık konturu dağılımında sıcaklık değerleri en düşük değerlerdedir. Bununla birlikte, nanoakışkan kanal çıkışına doğru ısınarak ilerlediğinden alt plaka ile olan sıcaklık farkı azalmakta ve çıkışa doğru plaka sıcaklıkları artış sergilemektedir. Modeller incelendiğinde Model 1’e göre akışa dik bölüntü sıralaması fazla olan Model 2’de sıcaklık değerlerinin daha yüksek oldukları görülmektedir. Bununla birlikte, akışkan hızı artırılarak 0,004 kg/s olduğunda ise taşınım ile artan ısı transferine bağlı olarak plaka sıcaklıkları azalmakla birlikte Model 2’de Model 1’e göre özellikle kanal çıkışına yakın bölüntü kısımlarındaki sıcaklık artışı kontur dağılımlarında dikkat çekmektedir.

Görsel 10-A ve B’de sırasıyla 0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızlarında (a)-Model 1 ve (b)-Model 2 için Elmas-su nanoakışkanının basınç konturu dağılımları sergilenmektedir. Her iki

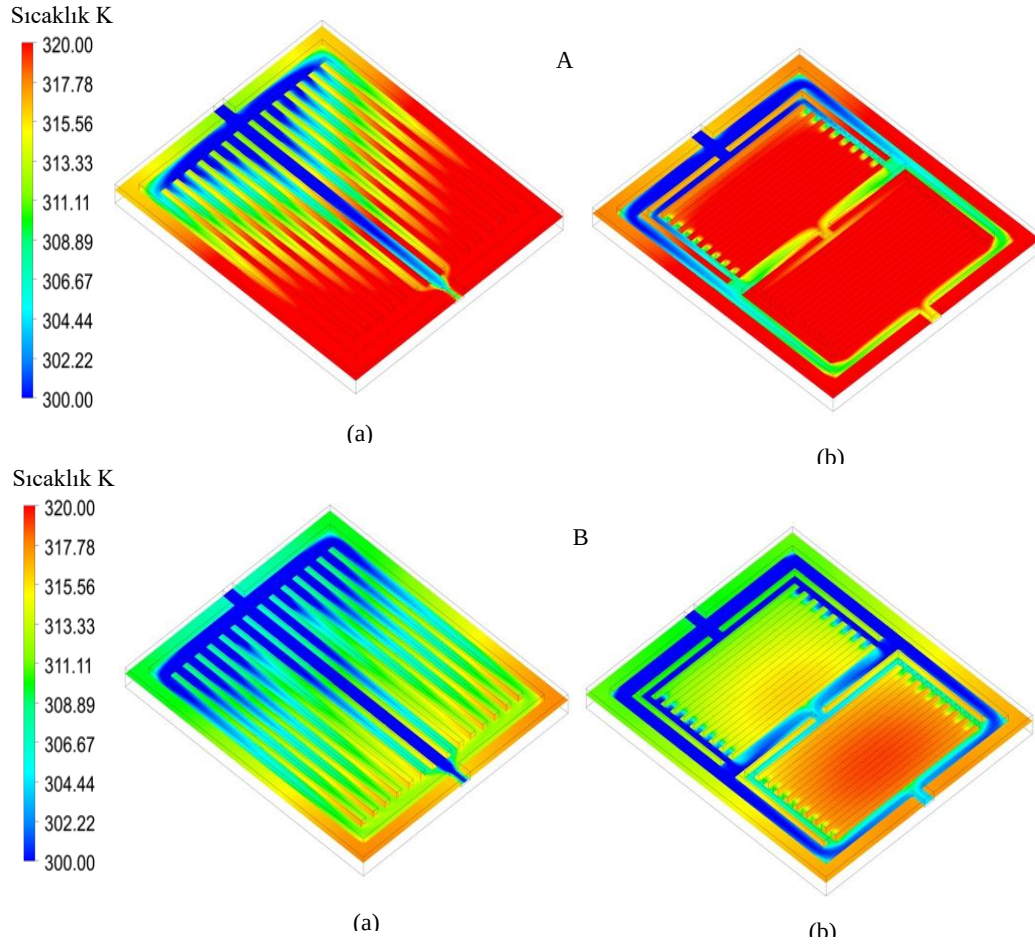
model için de bölüntü aralarında nanoakışkanın basınç değerleri fazla iken, akış hızının artırılarak 0,004 kg/s'ye çıkarıldığı durumlarda kanal duvarları ve akışkan katmanları arasında oluşturulan viskoz sürtünmeler nedeniyle basınç kayıpları artmaktadır. Bu nedenle, MKIE modelleri arasında özellikle Model 2'de kanal girişinde daha fazla olan basınç değerleri, kanal çıkışına doğru ikinci bölüntü kanalları etrafında azalmaktadır. Bu durum da akışın daha fazla dirençle karşılaştığını göstermektedir.



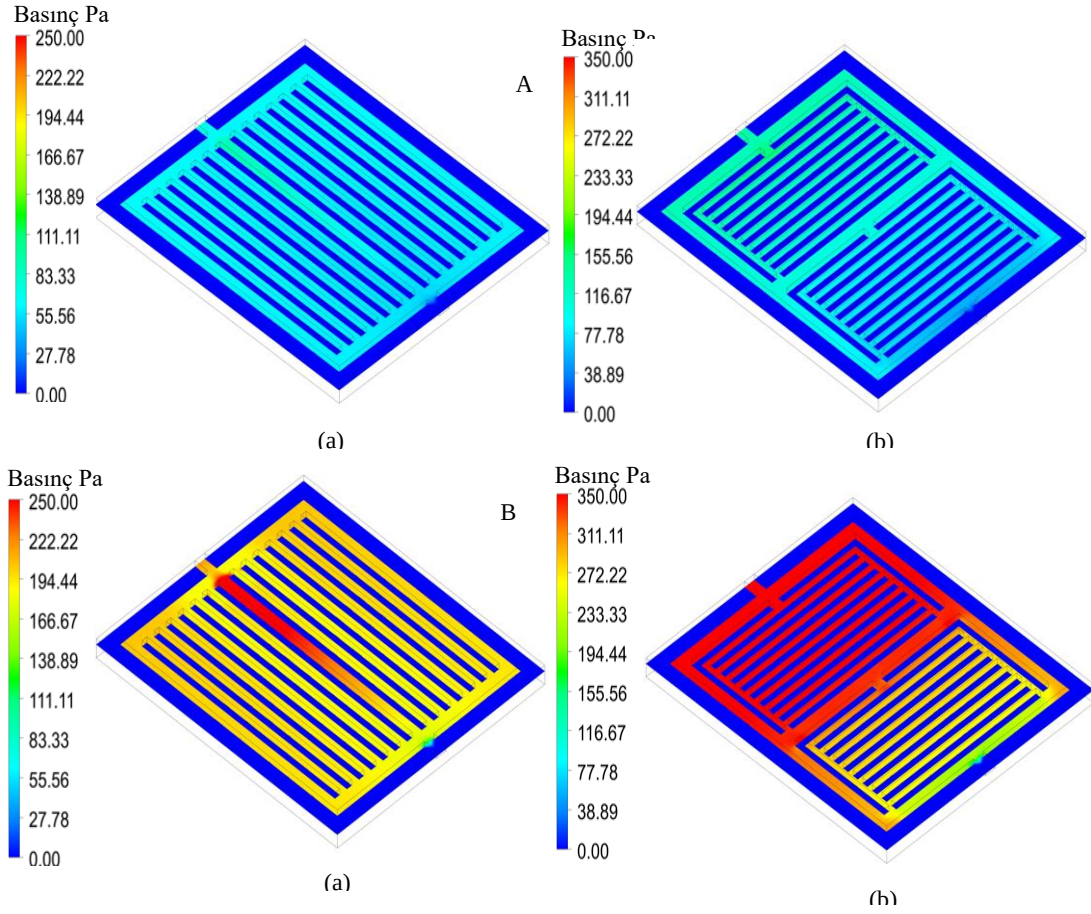
**Görsel 7. 0,002 kg/s kütleli akış hızında Elmas-su nanoakışkanı
hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2
(a) akım çizgisi (b) hız konturu**



Görsel 8. 0,004 kg/s kütleel akış hızında Elmas-su nanoakışkanı hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2



Görsel 9. A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s kütleli akış hızında Elmas-su nanoakışkanı sıcaklık konturu dağılımı (a)- Model 1 (b)- Model 2



Görsel 10. A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s kütleli akış hızında Elmas-su nanoakışkanı basınç konturu dağılımı (a)-Model 1 (b)-Model 2

5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Farklı MKIE tasarımlarının ısı transferi ve basınç düşüşü analizlerinin farklı akışkanlar kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kütleli akış hızı arttıkça akışkan hızı yükselmekte ve buna bağlı olarak bölüntülü kanaldaki akışkanın karışması iyileşmektedir.
- Nu_{ort} değerleri her iki MKIE ve akışkan türü için de artmaktadır.
- Kanalın bölüntülü olarak tasarlanması kanal içerisinde akışkanın ısı emici yüzeyle etkileşimini artırarak taşınım ısı transfer katsayısını ve dolayısıyla ısı transfer performansını iyileştirmektedir.
- Genel olarak, tüm modeller için su akışkanının kullanıldığı MKIE'leri için özellikle akış hızının artırılmasıyla daha yüksek Nu_{ort} sayısı değerleri elde edildiği görülmektedir.
- Model 2'de ve 0,0045 kg/s akış hızında Elmas-su nanoakışkanı için elde edilen Nu_{ort} değeri, su akışkanına göre %6,35 daha azdır.

- Bununla birlikte, kanal bölüntüsünün daha fazla olduğu Model 2 için ulaşılan Nu_{ort} değerleri geleneksel modelden daha düşük olmaktadır.

- 0,0035 kg/s akış hızında su akışkanı kullanılan Model 1 için Nu_{ort} değeri, Model 2'den %23,80 daha fazla olmaktadır.

- Kütleli akış hızının artışı akışkanların sıcaklık artışında etkin olan iletimle ısı geçişi direncini artırdığı için çıkış sıcaklık değerlerinin azalmasına sebep olmaktadır.

- 0,0045 kg/s akış hızında Model 2 için Elmas-su nanoakışkanı kullanılması durumunda Model 1'e göre basınç kaybı %54,40 daha fazla olmaktadır.

Buna göre, basınç düşüşünün fazla olması kanal içerisinde akışkan hareketini etkileyerek ısı transferinin farklı akış bölünme tasarımlarında farklılıklar göstermesine sebep olduğundan hidrotermal tasarım bakımından kanal tasarımlarında önem verilmesi gereken konulardan biridir.

KAYNAKÇA

Al-Hasani, H.M., Freegah, B. (2022) Influence of fluid inlet-outlet on hydrothermal evaluation for different serpentine mini-channel heat sink configurations, *Heat Transfer* 51(8), 7635-7654.

Ammar, N.A., Freegah, B., Al-Obaidi, A.R. (2025) Hydrothermal performance enhancement of minichannel heat sink with inline and staggered arrangements of straight and wavy fins, *Heat Transfer*, 54, 3775-3789.

Babar H., Ali, H.M. (2019) Airfoil shaped pin-fin heat sink: potential evaluation of ferric oxide and titania nanofluids, *Energy Conversion and Management*, 202, 112194.

Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, M. (2019) Analysis of straight and wavy miniature heat sinks equipped with straight and wavy pin-fins, *International Journal of Thermal Sciences* 146, 106071.

Chein, R., Chen, J. (2009) Numerical study of the inlet/outlet arrangement effect on microchannel heat sink performance, *International Journal of Thermal Sciences* 48(8), 1627-1638.

Feng, Z., Ai, X., Wu, P., Lin, Q., Huang, Z. (2020) Experimental investigation of laminar flow and heat transfer characteristics in square minichannels with twisted tapes, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 158, 119947.

Ge, Y., He, Q., Lin, Y., Yuan, W., Chen, J., Huang, S.M. (2022) Multi-objective optimization of a mini-channel heat sink with non-uniform fins using genetic algorithm in coupling with CFD models, *Applied Thermal Engineering*, 207, 118127.

Ghadhban, F.N., Jaffal, H.M. (2023) Numerical investigation on heat transfer and fluid flow in a multi-minichannel heat sink: effect of channel configurations, *Results in Engineering*, 17, 100839.

Gholinia, M., Ranjbar, A.A., Hosseinpour, A.A. (2022) CFD analysis of (TiO₂)-H₂O nanofluids on Si-IGBT power electronic module with a new micro-nozzle model, *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry*, 147(20), 11577-11589.

Ghouchi, T., Pourfallah, M., Gholinia, M. (2024) The thermal and hydrodynamic analysis in a heat sink with different configurations of shark scales-based fins, *Applied Thermal Engineering*, 250, 123492.

Gong, L., Kota, K., Tao, W., Joshi, Y. (2011) Parametric numerical study of flow and heat transfer in microchannels with wavy walls, *Journal of Heat Transfer*, 133(5), 051702.

- Gunnasegaran, P., Mohammed, H.A., Shuaib, N.H. Saidur, R. (2010) The effect of geometrical parameters on heat transfer characteristics of microchannels heat sink with different shapes, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(8), 1078-1086.
- Hosseini-rad, E., Khoshvaght-Aliabadi, M., Hormozi, F. (2019) Effects of splitter shape on thermal-hydraulic characteristics of plate-pin-fin heat sink (PPFHS), *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 143, 118586.
- Imran, A.A., Mahmoud, N.S., Jaffal, H.M. (2018) Numerical and experimental investigation of heat transfer in liquid cooling serpentine minichannel heat sink with different new configuration models, *Thermal Science and Engineering Progress*, 6, 128-139.
- John, T.J., Mathew, B., Hegab, H. (2010) Parametric study on the combined thermal and hydraulic performance of single phase micro pin-fin heat sinks part 1: square and circle geometries, *International Journal of Thermal Sciences*, 49(11), 2177-2190.
- Khoshvaght-Aliabadi, M., Sahamiyan, M., Hesampour, M., Sartipzadeh, O. (2016) Experimental study on cooling performance of sinusoidal-wavy minichannel heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 92, 50-61.
- Khoshvaght-Aliabadi, M., Feizabadi, A., Nouri, M. (2021) Design of novel geometries for minichannels to reduce junction temperature of heat sinks and enhance temperature uniformity, *Applied Thermal Engineering*, 192, 116926.
- Khoshvaght-Aliabadi, M., Abbaszadeh, A., Rashidi, M.M. (2022) Comparison of co- and counter-current modes of operation for wavy minichannel heat sinks (WMHSs), *International Journal of Thermal Sciences*, 171, 107189.
- Lin, L., Zhao, J., Lu, G., Wang, X.D., Yan, W.M. (2017) Heat transfer enhancement in microchannel heat sink by wavy channel with changing wavelength/amplitude, *International Journal of Thermal Sciences*, 118, 423-434.
- Mahmood, H., Freegah, B., Faik, A.M.E.D., Saleh, Q. (2024) Optimizing minichannel heat sink design: a combined numerical and experimental analysis of inlet/outlet configurations and pin fin enhancements, *Heat Transfer*, 54(3), 1921-1939.
- Mohammed, H.A., Gunnasegaran, P., Shuaib, N.H. (2011) The impact of various nanofluid types on triangular microchannels heat sink cooling performance, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 767-773.
- Mozafari, M., Lee, A., Mohammadpour, J. (2021) Thermal management of single and multiple PCMs based heat sinks for electronics cooling, *Thermal Science and Engineering Progress* 23, 100919.
- Nabi, H., Gholinia, H., Khiadani, H., Shafieian, A. (2023) performance enhancement of photovoltaic-thermal modules using a new environmentally friendly paraffin wax and red wine-rGO/H₂O nanofluid, *Energies*, 16(11), 4332.
- Pak, B.C., Cho, Y.I. (1998) Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, 11, 151-170.
- Rabby, M.I.I., Masuri, S.U., Kaniappan, L., Loulou, T., Islam, A.S. (2021) Effect of water based nanofluids on laminar convective heat transfer in developing region of rectangular channel, *CFD Letters*, 11(12), 74-87.
- Shen, Y-T., Dai, Y-B., Lu, J-X., Zhou, R., Chen, H., Cheng, W-L. (2025) Experiment on enhanced heat transfer of embedded manifold Tesla-patterned microchannel heat sink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 165, 109050.
- Siahchehrehghadikolaei, S., Ghadikolaei, S.S., Gholinia, M., Ahmadi, G. (2025) application of CNTS/H₂O nanofluid and the wavy fin with dimples in thermal management of CPU: a numerical modeling of hybrid passive cooling, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 86(18), 6545-6562.

- Sohel, M.R., Khaleduzzaman, S.S., Saidur, R., Hepbasli, A., Sabri, M.F.M., Mahbubul, I.M. (2014) An experimental investigation of heat transfer enhancement of a minichannel heat sink using $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-H}_2\text{O}$ nanofluid, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 74, 164-172.
- Toprak, B.İ., Baghaei Oskouei, S., Bayer, Ö., Solmaz, İ. (2022) Experimental and numerical investigation of a novel pipe-network mini channel heatsink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 136, 106212.
- Vasilev, M.P., Abiev, R.S., Kumar, R. (2021) Effect of circular pin-fins geometry and their arrangement on heat transfer performance for laminar flow in microchannel heat sink, *International Journal of Thermal Sciences*, 170, 107177.
- Wang, Y., Zhu, K., Cui, Z., Wei, J. (2019) Effects of the location of the inlet and outlet on heat transfer performance in pin fin CPU heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 151, 506-513.
- Xia, G.D., Liu, R., Wang, J., Du, M. (2016) The characteristics of convective heat transfer in microchannel heat sinks using Al_2O_3 and TiO_2 nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 256-264.
- Xu, M., Lu, H., Gong, L., Chai, J.C., Duan, X. (2016) Parametric numerical study of the flow and heat transfer in microchannel with dimples,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 348-357.
- Yang, S., Cao, B., Wu, Z., Hong, S., Xu, H., Sheng, K. (2026) Experimental study of a SiC manifold microchannel heat sink under background and hotspot heating scenarios at ultra-high heat flux, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 254, 127657.

ATIKSULARIN ANAEROBİK ARITIMINDA ORGANİK YÜKLEME ETKİSİ

Şükrü Aslan

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Böl.,
saslan@cumhuriyet.edu.tr–ORCID: 0000–0001–8735–8029

ÖZET

Atıksuların aerobik arıtımı ile karşılaştırıldığında anaerobik sürecin daha ekonomik, enerji ihtiyacına katkıda bulunacak metan (CH₄) üretimi, daha düşük hacimde ve kararlı çamur elde edilmesi ile daha avantajlı biyolojik yöntem olarak değerlendirilmektedir. Ancak, hedeflenen çıkış suyu kalitesine ulaşmak için uzun hidrolik alıkonma süresi (HAS) sonucu yüksek reaktör hacmi gereksinimi, anaerobik arıtımın olumsuzlukları olarak değerlendirilmektedir. Yüksek organik madde içeriğine sahip atıksuların arıtılmasında ekonomik olmasına rağmen, kentsel atıksular gibi düşük kirletici içeren atıksuların anaerobik arıtımında daha ekonomik çözümler için deneysel çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu çalışmada yüksek kirletici derişimine sahip endüstriyel atıksuların arıtımında uygulanan anaerobik arıtım sürecinde organik yüklemenin, çıkış suyu kalitesine, biyogaz hacmine, bileşimine ve süreç adımlarında ara ürün oluşumuna etkisi incelenmiştir.

Başlıca lipitler ve karbonhidratlar olmak üzere organik maddeler, atıksu enerji içeriğine katkıda bulunmaktadır. Sıcaklık, pH, karbon/azot (C/N) oranı, alkalinite, organik madde yükleme hızı (OYH), HAS ve asit oluşum aşamasında açığa çıkan uçucu yağ asitlerin (UYA) derişimi, anaerobik reaksiyon ve reaksiyon sonucunda oluşan biyogaz verimini etkilemektedir. Anaerobik reaktöre uygulanan OYH, hidroliz ile CH₄ oluşum aşamasındaki dengeyi, metabolik aktiviteyi, çamur özelliklerini, biyogaz verimini ve bileşiminde değişmelere neden olmaktadır.

Anaerobik reaktör işletim sıcaklığına göre OYH seviyesi, biyogaz içeriğindeki H₂ ve CH₄ bileşiminde değişmelere neden olmaktadır. Yüksek OYH’de, termofilik koşullar altında biyogaz H₂ içeriği iyileşirken, düşük yüklemelerde metanojen aktivite artışı sağlanarak CH₄ verimi yükseltilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Anaerobik süreçler, biyolojik arıtım, organik yükleme.

ORGANIC LOADING RATE EFFECT ON ANAEROBIC TREATMENT OF WASTEWATERS

Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Sivas Cumhuriyet
University, Türkiye

saslan@cumhuriyet.edu.tr–ORCID: 0000–0001–8735–8029

ABSTRACT

Compared to an aerobic wastewater treatment, an anaerobic process is considered a more advantageous biological method due to its economic advantages, methane (CH₄) production contributing to energy needs, and the production of lower volume and stable sludge. However, the high reactor volume requirement due to the long hydraulic retention time (HRT) to achieve the high quality discharge waters is considered a disadvantage of anaerobic treatment. Although it is economical in the treatment of wastewaters with high organic contents, experimental studies are ongoing to find more economical solutions for the anaerobic treatment of wastewaters with low organic contents, such as urban wastewater.

In this study, the effect of organic loadings on effluent water quality, biogas volume and composition, and intermediate product formation in the process steps was investigated in the anaerobic treatment process applied in the treatment of industrial high–strength wastewaters.

Organic compounds, mainly lipids and carbohydrates, contributes to the energy content of wastewaters. Temperature, pH, carbon/nitrogen (C/N) ratio, alkalinity, organic loading rate (OLR), HRT, and the concentration of volatile fatty acids (VFAs) released during acid formation all affect the anaerobic reaction and the resulting biogas yield. OLR applied to the anaerobic reactor could in the equilibrium during hydrolysis and CH₄ formation, metabolic activity, sludge properties, biogas yield, and composition.

Depending on the operating temperature of anaerobic reactor, the OLR level causes changes in the H₂ and CH₄ composition of biogas. At high OLR, H₂ content of biogas is improved under thermophilic conditions, while at low loadings, methanogen activity increases, leading to higher CH₄ yield.

Keywords: Anaerobic process, biological treatment, organic loading rate.

GİRİŞ

Nüfus artışı ve endüstriyel üretimin çeşitlenmesi, enerji ve su talebini yükseltmekte, insan sağlığını ve ekosistemi tehdit etmektedir. Son 200 yılda fosil yakıt tüketimi 1300 kat artmış, küresel nüfus artışı dikkate alındığında, dünyanın enerji gereksiniminin 2040 yılına kadar %28, su talebinin 2050 yılına kadar %30 artacağı tahmin edilmektedir (Leicester vd., 2020).

Gelecekte beklenen nüfus dikkate alındığında enerji ve su tüketimi ve oluşan atıksuların ve atıkların yönetimi, çevresel açıdan oldukça önemli bir sorun olarak görülmektedir. Atıkların enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği ve evsel ve endüstriyel atıksuların azaltılması ve tekrar kullanılabilirliği konusunda daha ekonomik çözümlere ulaşmak için çalışmalar sürdürülmektedir.

Atıksuların arıtımında kimyasal maddenin neden olduğu maliyet ve oluşan çökeltinin (çamur) çevresel açıdan sorun teşkil etmesi nedeni ile atıksu içeriğinde organizma yaşamına engel, toksik kirletici bulunmadığı durumlarda biyolojik arıtım tercih edilmektedir.

Evsel ve endüstriyel atıksuların içme suyu, sulama ve üretimde yeniden kullanılabilmesi için arıtma maliyeti yüksektir. Sadece yemek pişirme, yıkama, temizlik ve hijyenden kaynaklanan evsel atıksuyun arıtılması bile küresel elektrik tüketiminin %3'ünü ve küresel karbondioksit (CO₂) dışı sera gazı emisyonlarının (çoğunlukla metan (CH₄)) %5'ini oluşturmaktadır (Li vd., 2015).

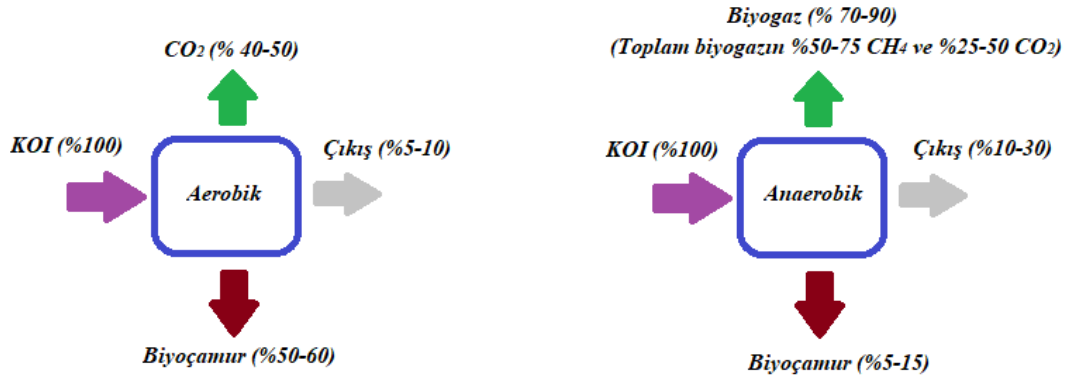
Gelişmiş ülkelerde, aktif çamur (aerobik süreç), arıtılan hacim bakımından atıksu arıtımında en yaygın kullanılan biyolojik süreçtir (Leicester vd., 2020). Aktif çamur süreci gibi yaygın kentsel atıksu arıtma teknolojileri, özellikle toplam süreç enerji talebinin yaklaşık %50'sini oluşturan havalandırma nedeniyle önemli enerji gereksinimlerine sahiptir. Havalandırma için tüketilen enerji geri kazanılamaz ve aktif çamur için enerji arıtma maliyeti tipik olarak 2,52 ile 7,2 kJ/g KOI arasındadır (Leicester vd., 2020).

Yüksek enerji tüketimine rağmen, atıksu arıtma tesislerinin (AAT) işletilmesinde kullanılan enerjiden 4–5 kat daha fazla enerjinin atıksu içeriğinde bulunduğu tahmin edilmektedir. Enerji tüketimi azaltılır ve enerji geri kazanımı en üst düzeye çıkarılırsa, atıksu arıtımının en azından enerji açısından nötr veya hatta pozitif olması mümkün olabilir. Atıksudaki enerji içeriği, öncelikle lipitler ve karbonhidratlar gibi kimyasal oksijen ihtiyacına (KOİ) katkıda bulunan bileşiklerden kaynaklanırken, azot bileşiklerinin katkısı (0,3 kWh/m³), toplam teorik enerji içeriğinin (1,96 kWh/m³) nispeten küçük bir kısmıdır (yaklaşık %15) (Dai vd., 2019). Dai vd., (2019) evsel atıksuyun enerji içeriğinin 16,1 kJ/gKOI olduğunu belirtmekte, ancak atıksu içeriğinde organik karbonda depolanan enerji, oksidasyon ile CO₂'te dönüşmekte ve biyolojik sentez ile biyoçamuru oluşturan bakteri hücrelerinde yer almaktadır.

AAT'lerindeki son gelişmeler ile biyoçamurdan enerji kazanımı amacı ile anaerobik çürütme (AnÇ) ile kaynak geri kazanımı uygulanmaktadır (Aslan ve Alhraisawi, 2025; Aslan vd., 2025). AnÇ ile atıksudaki enerjinin sadece biyoçamura yönlendirilen kısmı geri kazanılmaktadır. Bu, aktif çamur tankına giren %100 KOI'nin en fazla % 40'ının yeni biyokütle veya çamur haline geldiği ve %60'ının oksijenle 'yakılarak' CO₂ ürettiği ve dolayısıyla kaybolduğu anlamına gelir. Aktif çamur sürecinde oluşan biyoçamur, bir AnÇ reaktörüne girer;

burada verim, aerobik verimin yaklaşık onda biri kadardır. Bu nedenle, başlangıçtaki %100 KOİ'nin %60'ı aktif çamur işleminde CO₂ olarak kaybolur, %1,6'sı AnÇ çamuru olarak son bulur ve %38,4'ü enerji üretimi için kullanılabilir (CH₄). Dolayısıyla, aktif çamur oldukça verimli bir işlem olmasına rağmen, enerji açısından pahalı olan süreç gerçekleştikten sonra AnÇ ile enerji geri kazanımı sağlar. Aktif çamur maliyetleri havalandırma için enerji girdisi ve atıksuyun enerjisinin yaklaşık %60'ının CO₂ olarak kaybıdır (Leicester vd., 2020). Şekil 1'de anaerobik ve aerobik süreçler ile organik madde giderimi (KOİ eşdeğeri olarak) sunulmuştur.

AnÇ ile üretilen 1 m³ biyogaz, 0,62 L kerosene eşdeğerdir ve ekonomik potansiyeli yüksektir. Kerosen, LPG, bütan, kömür ve fosil yakıtlardan elde edilen diğer kaynaklar için çevre dostu alternatif yakıt olarak kullanıma uygun, geri kazanılabilir enerji kaynağıdır (Hadiyarto vd., 2015).



Şekil 1. Organik maddenin aerobik ve anaerobik biyolojik dönüşümü (Chernicharo, 2007)

Anaerobik parçalama

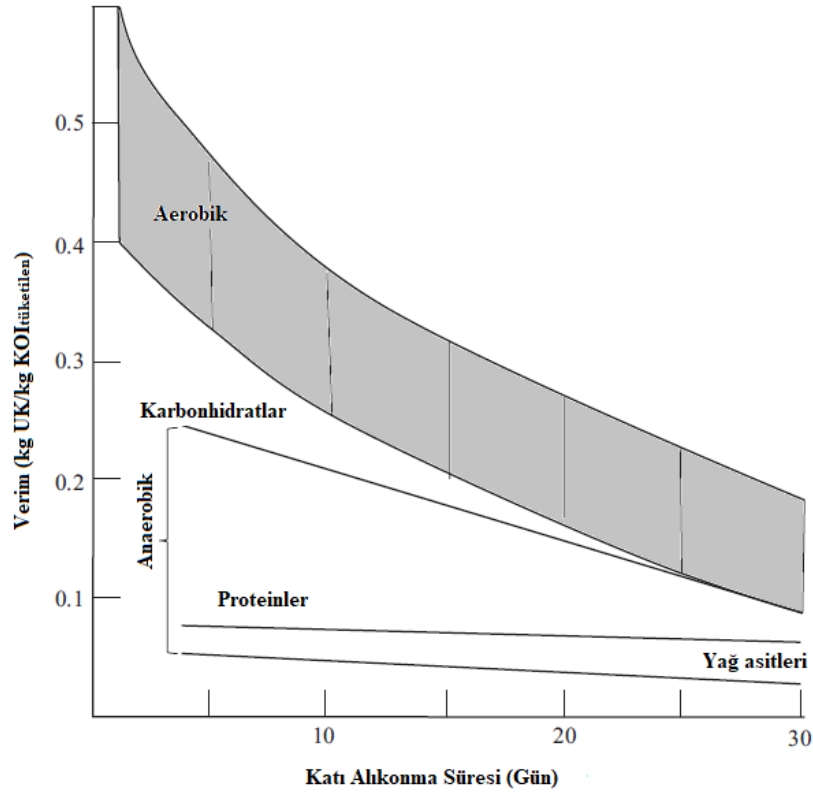
Anaerobik fermentasyon ve oksidasyon süreci birincil olarak atık biyoçamur ve yüksek organik madde içeriğine sahip atıksuların arıtımında uygulanmaktadır (Tchobanoglous vd., 2004). Fermentasyon sürecinde, organik maddenin parçalandığı ve biyogaz (başlıca CH₄ ve CO₂) üretilir ve AnÇ olarak tanımlanır. AnÇ süreci, toksik olmayan koşullarda organik materyalin bulunduğu ve redoks potansiyelinin düşük olduğu (sıfır oksijen) ortamlarda (geviş getiren hayvanların midelerinde, bataklıklarda, göl ve hendek sedimentlerinde, kentsel çöp deponi alanlarında ve kanalizasyon gibi) gerçekleşebilir (Cremonez vd., 2021; Van Lier vd., 2008). Aerobik sürece göre, yüksek organik madde içeriğine sahip endüstriyel atıksuların anaerobik arıtımında, enerji kazanımı, nutrient ilavesi gerektirmemesi ve daha düşük reaktör hacim ihtiyacı olması daha ekonomik bir süreç olmasını sağlamaktadır (Tchobanoglous vd., 2004).

Speece (1996) anaerobik süreçlerde genellikle aerobiğe göre 8–10 kat daha düşük hücre üretildiğini ve daha düşük mikrobiyal nutriende ihtiyacı olduğunu bildirmektedir (Akunna, 2018). Anaerobik sürecin tüm adımlarında yer alan mikrobiyal gruplar, birlikte çalışır, ancak hızlı büyüyen asit oluşturan (asidojenler) ve yavaş büyüyen CH₄ oluşturan (metanojenler) bakteriler arasında belirgin farklılıklar bulunmaktadır (Akunna, 2018).

Anaerobik süreçlerde aktif mikrobiyal gruplar arasında metanojenik bakterilerin büyüme hızları, önemli ölçüde daha düşüktür (Çizelge 1). Sonuç olarak, arıtma sisteminden metanojenik mikroorganizmaların uzaklaştırılma hız azaltımı uygun SRT ile kontrol edilir (Şekil 2) (Akunna, 2018). Şekil 2’de aerobik ve anaerobik süreçlerde SRT’ye göre farklı organik maddelerin giderimi ile biyokütle verim değişimi sunulmuştur.

Çizelge 1. Anaerobik parçalamada bazı mikroorganizma gruplarının ortalama yenilenme süresi (Akunna, 2018)

Mikroorganizma	Yenilenme süresi
Asidojenik bakteri	< 36 saat
Asetojenik bakteri	80–90 saat
Metanojenik bakteri	15–16 gün



Şekil 2. Aerobik ve anaerobik biyolojik parçalanma süreçlerinde substrat türü ve SRT’ye göre biyokütle verimi (Akunna, 2018).

Anaerobik arıtma, biyolojik olarak parçalanabilir organik bileşikleri gidermede oldukça etkilidir ve çözeltiliye NH_4^+ , PO_4^{3-} , S^{2-} gibi mineralleşmiş bileşikler salınır. Süreç, teknik olarak basit sistemlerde gerçekleştirilebilir ve işlem her ölçekte ve neredeyse her yerde uygulanabilir. Yüksek enerji tüketimi yerine faydalı enerji, biyogaz üretilmekte ve ayrıca üretilen atık biyoçamur miktarı çok düşüktür ve iyi bir şekilde stabilize edilmiştir; hatta biyoreaktörde üretilen granüler anaerobik çamurun piyasa değeri söz konusudur (Van Lier vd., 2008). Yüksek

enerjili biyogazın (yaklaşık %50–75 CH₄ ve %25–50 CO₂) (Kainthola vd., 2019) yanı sıra, bu süreç aynı zamanda koku salınımını kontrol eder, atık ham maddelerden kaynaklanan patojenleri azaltır, biyolojik gübre olarak kullanılan ilginç özelliklere sahip stabilize edilmiş bir atıksu üretir (Abdeshahian vd., 2016) ve sera gazı emisyonlarının, ötrofikasyonun, çözünmüş oksijenin azalmasının vb. azaltılmasına da katkıda bulunur (Kainthola vd., 2019).

Anaerobik parçalama, sıcaklık, pH, C/N oranı, alkalinite, organik yükleme hızı, hidrolik alıkonma süresi (HAS) ve uçucu yağ asitlerinin derişimi gibi çeşitli işletim parametrelerden etkilenir (Kainthola vd., 2019).

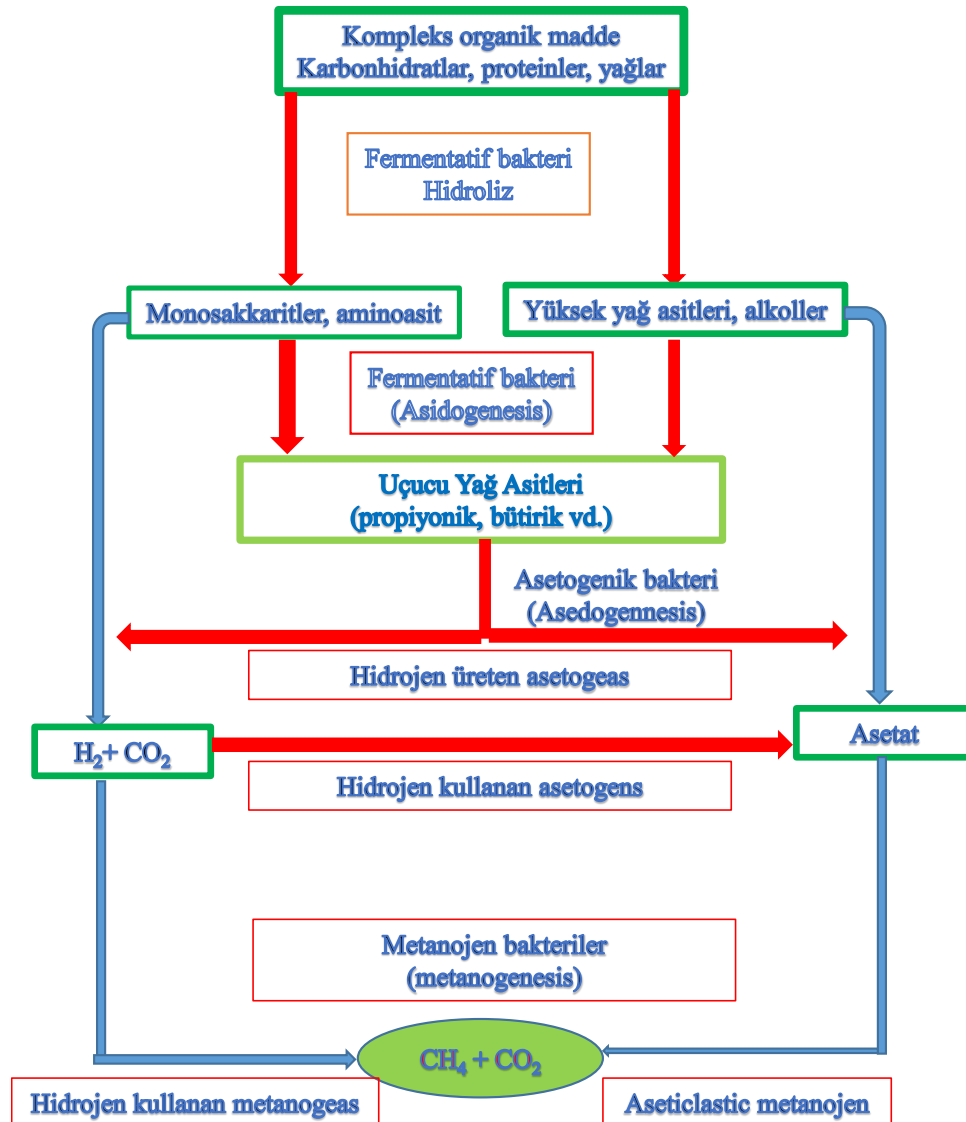
Organik bileşiklerin anaerobik oksidasyonu genellikle iki aşamalı bir süreç olarak kabul edilen farklı mikroorganizma topluluklarının yer aldığı doğru dengelenmiş bir ekolojik sistemi temsil eder (Akunna, 2018; Chernicharo, 2007), ancak hızlı büyüyen asit oluşturan (asidojenler) ve yavaş büyüyen CH₄ oluşturan (metanojenler) bakteriler arasında belirgin farklılıklar vardır (Akunna, 2018). Anaerobik parçalama süreci, hidroliz, asidojeniz, asetojeniz ve metanojeniz olmak üzere dört aşamadan oluşur ve bu aşamalar asidojenler, metanojenler vb. gibi farklı mikroorganizma grupları tarafından gerçekleştirilir (Şekil 3). Süreçte ayrıca nitrat ve sülfat indirgenmesi ile yan ürün olarak sırasıyla amonyak veya azot gazı ve hidrojen sülfür oluşumu söz konusudur (Akunna vd., 2018).

Hidroliz, anaerobik parçalamanın ilk aşamasıdır ve lipitler, karbonhidratlar, polisakkaritler, proteinler ve nükleik asitler gibi karmaşık biyopolimerlerin, hidrolitik bakteriler tarafından monomerler, şeker, amino asit, yağ asitleri, pürinler ve pirimidinler gibi çözünür bileşiklere dönüştürülmesidir. Asidojenizde, basitleştirilmiş monomerler, şeker, amino asitler ve yağ asitlerinin ara ürün olan propiyonik asit, bütirik asit vb.'ye dönüştürülmesi fermentatif bakteriler tarafından gerçekleştirilir. Asetojenez, asidojeniz ürününün homoasetojenler tarafından asetata dönüştürülmesidir. Son aşamada ise metanojeniz gerçekleşir ve bu aşamada iki grup metanojen tarafından asetate ve CO₂'ten CH₄ üretilir. Yani asetoklastik (asetat tüketicileri) ve H₂ kullanan metanojenler (CO₂ indirgeyici metanojenler). Asetoklastik metanojenler asetate CO₂ ve CH₄'na dönüştürürken, H₂ kullanan metanojenler CO₂ ve H₂ sırasıyla elektron alıcı ve verici olarak kullanarak CH₄ üretir (Kainthola vd., 2019).

Farklı fonksiyonel mikrobiyal etkileşimler karmaşıktır ve mikrobiyal gruplar arasındaki dengesizlik reaksiyon hızını etkiler ve engelleyici (inhibitör) maddelerin birikmesine neden olur. Tüm mikrobiyal gruplar arasında metanojenlerin en yavaş büyüme hızına sahip olduğu düşünüldüğünden süreçte, CH₄ oluşumunun, hız sınırlayıcı aşama olduğu varsayılmaktadır. Bununla birlikte, lignoselülozik madde durumunda hidroliz hız sınırlayıcı adımdır (Kainthola vd., 2019).

CH₄ üretimi, metanojenler adı verilen ve kesinlikle anaerobik prokaryotlar olan özel mikroorganizma grubu tarafından gerçekleştirilir. Metanojenik arkeler, asit oluşturan mikroorganizmalar tarafından sağlanan substrata bağımlıdır ve bu nedenle sentrofik bir etkileşimden oluşur. Anaerobik koşullarda organik maddenin oksidasyonunda SO₄²⁻ veya CO₂ gibi inorganik elektron alıcıları kullanılır ve O₂ ve NO₃⁻ elektron alıcısı olarak bulunduğu ortamlarda CH₄ oluşumu gerçekleşmez (Chernicharo, 2007).

Metabolik aktivite ve anaerobik reaksiyonda aktif bakteri türlerini etkileyen önemli faktörler, organik madde bileşimi ve reaktör işletim koşullarıdır (Kiener vd., 1983; Fetzer vd., 1993). Biyolojik reaksiyonda asetojenler ve metanojenler arasındaki etkileşim son derece karmaşıktır (Brioukhanov vd., 2006).



Şekil 3. Anaerobik parçalanmada metabolik yollar ve mikrobiyal gruplar (Chernicharo, 2007)

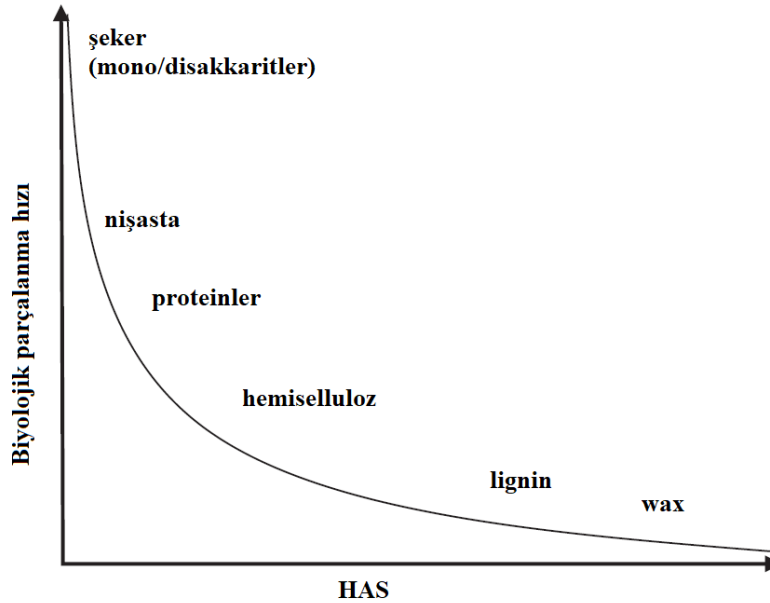
Metanojenler, anaerobik ekosistemlerde iki temel işlevi yerine getirir: Ortamdan organik karbonun uzaklaştırılmasını sağlayan çözünmeyen gaz (CH_4) üretirler ve ayrıca ortamda fermentasyon ve asit üreten bakterilerin asetik asit gibi daha fazla oksitlenmiş çözünür ürün üretmesine olanak sağlayacak kadar düşük H_2 kısmi basıncını korurlar. Metanojenler, organik bileşiklerin parçalanması sırasında anaerobik ortamda son aşamada yer alır ve doğal olarak düşük büyüme hızları, genellikle sürecinin tamamında sınırlayıcı bir faktör oluşturur (Chernicharo, 2007).

Anaerobik reaktöre uygulanacak HAS, reaktöre beslenen substratın türüne (Şekil 4) ve işletim koşullarına (sıcaklık ve karıştırma gibi) bağlıdır. Biyolojik parçalanabilirlik, enzimatik hidrolizi

zor olan lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi bileşiklerin kimyasal yapısıyla sınırlı olabilir (Akunna, 2018).

Atıksu (mezbahane gibi), organik içeriğinde, trigliserit gibi bileşikler kolayca hidrolize olarak uzun zincirli yağ asitleri (UZYA) ve gliserol oluşturur. Yüksek UZYA birikimi, toksisite nedeniyle asetojenik ve metanojenik bakterilerin normal işlevini etkileyebilir. Ayrıca, yüzey aktif asitlerin hücre duvarına adsorpsiyonu ile taşıma ve koruma süreçlerinde anaerobik parçalama inhibisyonuna sebep olabilir (Musa vd., 2018).

Bu çalışmada yüksek organik madde içeriğine sahip atıksuların anaerobik parçalanmasında organik ve çamur yükleme hızlarının (OYH ve ÇYH) organik madde giderme verimine, organizmalara etkisi, oluşan biyokütle özelliklerine ve biyogaz üretim verimine etkisi incelenmiştir. Anaerobik sürece etki eden pH, alkalinite, sıcaklık, C/N oranı, aşı organizma, reaktör tipi gibi parametreler, literatürde kapsamlı olarak yer aldığından sunulmamıştır.



Şekil 4. Çeşitli organik bileşiklerin parçalanma hızı ile bekleme süresi arasındaki ilişki (Akunna, 2018).

Anaerobik süreçte organik yükleme

Kentsel veya endüstriyel atıksu arıtımında atıksu debisi, günlük çalışma süresinde değişiklik gösterebildiğinden arıtma süreci farklı kütsel organik yüklere maruz kalabilir ve işletim zorlaşabilir (Lobos vd., 2008).

Organik yükleme hızı (OYH, kg COD/m³.gün) ve çamur yükleme hızı (ÇYH, F/M, kg COD/kg UAK.gün) (Eşitlik 1 ve 2), substrat arzı ile mikroorganizma arasındaki dengeyi ifade eder ve organik madde uzaklaştırma verimini, çamur özelliklerini ve mikrobiyal bileşimi etkileyen önemli bir değişken işletim parametresidir (Nie vd., 2017). Organik yüklemeler, reaktör tasarımı ve çalıştırılması için çok önemlidir ve reaktöre doğrudan uygulanan substratın birim hacim başına kütle miktarı, uygulanan hacimsel organik yükleme olarak tanımlanır. OYH, atıksu organik içeriğinin sisteme verildiği hızdır ve tesis tasarımında kritik değerdir. OYH'na

ek olarak, reaktördeki organizma kütlesi de (aşı), F/M oranı arasındaki ilişkiyi etkilediğinden önemlidir (Pereira vd., 2022).

OYH, organik madde parçalanma sürecinde, organik maddenin giderme veriminde ve arıtılmış atıksuyun kalitesini belirlemede en etkili faktördür. Organik madde gideriminde OYH'nın kademeli artışı etkindir (Pereira vd., 2022). Arıtılan atıksuyun hacmini ve kirlenme seviyesini dikkate alır ve debiye ve reaktörün boyutuna (veya HAS'a) ve atıksuyun KOİ derişimine göre hesaplanır ve gerekli tank boyutunun belirlenmesini sağlar (Leicester vd., 2020).

$$OYH \left(\frac{kg KOI}{m^3 \times gün} \right) = \frac{Q \left(\frac{m^3}{gün} \right) \times S \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{V_r (m^3)} = \frac{S \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{HAS(gün)} \quad (1)$$

$$F/M \text{ (g BOİ/g UAKM. gün)} = \frac{Q \left(\frac{m^3}{gün} \right) \times S \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{V_r (m^3) \times X \left(\frac{kg}{m^3} \right)} \quad (2)$$

Formüllerde: X = reaktör biyokütle derişimi (kütle/hacim), S₀: Substrat derişimi (kütle/hacim), Q: debi (hacim/zaman); UAKM: uçucu askıda katı madde derişimi (biyokütlenin organik kısmı) (kütle/hacim). Bildiride AKM: askıda katı madde (MLSS) kısaltmaları olarak kullanılmıştır.

Reaktör işletim koşullarına göre OYH optimize edilmelidir. Belirlenen OYH'den daha yüksek yüklemelerde, organizmaya uygulanan aşırı organik yükleme sonucu, çıkış suyu kalitesinde bozulmalar görülmektedir (Pereira vd., 2022). Organik yükleme hızı arttıkça KOİ giderme verimi lineer olarak azalmasına rağmen AnÇ sürecinde yüksek yüklemelerde daha fazla substrat giderimi sağlanmaktadır. Anaerobik akışkan yataklı sistemde HRT 2 saatin üzerinde olduğunda KOİ giderme verimi, HRT'den bağımsızken, daha düşük HRT'lerde verim keskin bir şekilde düşmektedir. Yüksek HRT'lerde reaktörün performansı besleme KOİ derişiminden bağımsızdır (Borja vd., 1995).

Reaktör içindeki çamur özellikleri, kullanılan atıksu ve aşılama özelliklerinin yanı sıra, başlangıç işletim ve granülasyon sırasındaki işletme koşullarına bağlı olduğu söylenebilir. Aynı atıksu için, çamur özellikleri, uygulanan yükleme hızlarına göre farklılık gösterir. Başlangıç ve granül oluşumu sırasında uygulanan OYH ve ÇYH, çamur özelliklerini belirleyen önemli parametreler arasındadır (Ghangrekar vd., 2005).

OYH'nın artması ile reaktörde uçucu yağ asitleri (UYA) derişimi yükselmektedir (Çinçin ve Ağdağ, 2019). Aşırı OYH'de UYA birikimi olmaması, tamponlama kararlılığını ve uygun parçalanma hızları ve F/M oranlarında gerçekleşmektedir. OYH'deki değişiklikler veya toksik bileşiklerin varlığı nedeniyle kararsız koşullarda, UYA birikimi olabilir (Pereira vd., 2022). Uygun çalışma koşullarında artan OYH ile verimdeki artış, CH₄'a dönüştürülebilen molekül sayısındaki artıştan veya alternatif olarak, mikroorganizmalar tarafından substrat (besi maddesi, atıksu içeriğindeki kirlenici) tüketiminin reaksiyon hızındaki iyileşmeden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, CH₄ üretim verimi azalan bir eğilim gösteriyorsa, substrat derişimindeki artışın yetersiz olmasındandır. Optimum OYH üzerindeki organik yüklemelerde UYA üretim

hızındaki artış, tüketim hızını aştığında, metanojenler için toksik seviyeyi aşan UYA birikimi ile organik madde giderme verimi azalır. Optimum OYH'nın üzerindeki yüklemelerde, biyokütle doygunluğa ulaşmakta, organik madde parçalanma katsayısı düşmekte ve mikrobiyal çeşitlilikte değişiklik olduğunu gösteren EPS üretiminin farklılaştığı belirtilmektedir. Optimum OYH ve F/M oranlarının üzerinde reaktör işletiminde yetersiz alkalinite sözkonusu olduğunda, özellikle asetolaktikler olmak üzere metanojenik arkelerin büyümesi engellenebilir. Ayrıca, bu durum asidojenik fermantatif bakteriler tarafından üretilen UYA'nın birikmesine de yol açmaktadır (Pereira vd., 2022). Ancak, CH₄ üretim verimindeki artış, belirlenen işletim koşulları için optimum OYH değerine kadar olacaktır.

F/M oranı, biyolojik reaksiyonun gerçekleştiği reaktördeki substrat ile mikroorganizma kütlesi arasındaki dengeyi ifade eder ve organik madde arıtma verimini, reaksiyon sonucu üreyen organizma bileşimi ve sonuçta elde edilen biyoçamur özelliklerini etkileyen önemli bir işletim parametresidir (Ghangrekar vd., 2005; Liv vd., 2011; Tay ve Yan, 1996). F/M oranı, bakteri popülasyonlarının metabolit yollarını doğrudan etkiler (Lobos vd., 2008). Çalışmalar, F/M oranının AnÇ'de CH₄ gaz üretim veriminde belirli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir (Liu vd., 2014).

F/M oranı çok düşük olduğunda, mikrobiyal metabolizma, metabolizma için gerekli olan besin maddelerinin yetersizliği nedeniyle mükemmel bir şekilde gerçekleşmezken, F/M oranı aşırı yüksek olduğunda ise organik substratlar organizmanın ihtiyaç duyduğu miktarı aşar ve metabolik dengesizliğe yol açar (Hadiyarto vd., 2015).

Substrat makromoleküler bileşenleri anaerobik süreç veriminde önemli rol almaktadır (El-Sayed vd., 2025). Kolay biyolojik parçalanabilir organik madde içeriğine sahip (gıda atıkları gibi) substratların AnÇ'de adaptasyon fazı görülmez ve üretilen H₂, CH₄ ve CO₂ gazlarının işletim süresine göre (saatlik değişim) eğilimlerinin F/M oranlarına bağlı olduğu belirlenmiştir (Nguyen vd., 2021).

AnÇ reaktör işletim sıcaklığına göre (termofilik/mezofilik) F/M oranı, biyogaz bileşiminde değişimlere neden olmaktadır. Metanojenler, uygun F/M seviyeleri kullanılarak tamamen inhibe edilerek H₂ üretimi yükseltilebilir. Düşük F/M oranlarında (1–3), metanojen aktivite artışı ile CH₄ verimi yükselmekte ve daha yüksek F/M oranlarında, termofilik koşullar altında biyogaz H₂ içeriği iyileşmektedir. H₂ üretiminde sadece F/M oranı kontrolü ile mezofilik metanojenlerin, bastırılmasının, termofilik metanojenlere göre daha zor olduğu ve H₂ üretim veriminin azaldığı belirlenmiş (Pan vd., 2008). Yüksek organik yüklemelerde (KOI derişimi $\cong$ 45.0 g/L düşük) ise daha uzun reaksiyon süresi gereksiniminden kaynaklı olduğu tahmini ile toplam biyogaz, H₂ ve CH₄ üretiminin daha düşük olduğu belirlenmiştir. Artan F/M oranının fermantatif biyohidrojen üretimini desteklemediği raporlanmıştır (Nguyen vd., 2021). Pan vd., (2008) değişen F/M oranlarında (1–10) AnÇ deneysel çalışmasında termofilik fermantasyon koşullarında, mezofilik fermantasyona göre daha yüksek biyogaz ve H₂ verimi açıklamıştır. Termofilik koşullar altında, F/M oranının 1'den 5'e yükseltilmesi ile H₂ verimi artmış ve daha yüksek F/M oranlarında verimde önemli fark gözlenmemiştir. Mezofilik koşullarda ise, H₂ verimi yavaşça artmış, maksimum verime, F/M= 6'da seviyeye ulaşılmıştır. Daha yüksek F/M

oranlarında H_2 verimi önemli seviyede azalmış ve $F/M \geq 8$ 'e yükseltildiğinde H_2 verimi neredeyse sıfır olarak tespit edilmiştir (Pan vd., 2008).

Yüksek bir F/M oranı, metabolik aktivite ve mikrobiyal büyüme için yüksek itici güç ve atıkların yüksek hızda CH_4 'a dönüşümünü sağlar. Çok yüksek bir F/M oranında ise hidroliz ve metanasyon arasındaki dengeyi bozabilir, süreç verimini ve mikrobiyal ekolojiyi tahrip edebilir ve çamur deflokülasyonuna neden olabilir (Liu vd., 2012).

AnÇ verimi, en önemlisi tipik olarak F/M oranı olarak ölçülen yükleme hızı olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Yüksek organik yükler, her atık türünün kendine özgü engelleyici zorlukları olduğu için verimli işletmeyi engelleyebilir. Karbonhidrat açısından zengin tarımsal kalıntıların (lignoselülozik atıklar dahil) yüksek yüklemelerinde hidroliz hızı düşer. Benzer şekilde, mezbaha yan ürünleri gibi protein açısından zengin atıklar, mikrobiyal aktiviteyi engelleyen aşırı NH_3 üretebilir. Yüksek F/M oranı ile daha yüksek lipid içeriğine sahip substratların, UYA'ya kıyasla uzun zincirli yağ asitlerinin birikimiyle metanojenler üzerinde çok daha büyük bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Borja vd., 1995; El-Sayed vd, 2025). Yağ ve gres gibi lipid açısından zengin atıklar, UZYA üretmeleri sonucu mikrobiyal popülasyonları olumsuz etkiler (Mata-Alvarez vd., 2014). Daha yüksek karbonhidrat içeriğine sahip substratların parçalanmasında, UYA'ların hızlı birikiminden dolayı organizmanın inhibisyonu duyarlı olduğu açıklanmıştır. (El-Sayed vd, 2025). Yüksek F/M oranlarında yüksek UYA üretimi pH düşmesine ve H_2 üreten mikroorganizmaların inhibisyonu sonucu H_2 üretiminde azalmaya neden olmasına rağmen ortamda substrat bulunması durumunda, düşük pH ortamlarına adaptasyon göstermesi ile H_2 üretimi sürmektedir (Pan vd., 2008; Roychowdhury vd., 1988).

Mezofilik metanojenlerin, sadece F/M'yi kontrol ederek termofilik metanojenlere göre kısıtlanması daha zordur. pH sadece bakteri aktivitelerini ve büyüme hızlarını etkilemez, aynı zamanda metabolik yolları da değiştirdiğinden, farklı pH seviyeleri farklı fermentasyon hızlarına ve ürünlerine neden olmaktadır. Anaerobik fermentasyonda pH, metanojenlerin aktivitesini kısıtlamada önemli bir faktördür. Metanojenizasyon hızı, pH 6,3'ten düşük veya 7,8'den yüksek olduğunda azalmakta veya durmaktadır. Karışık kültürler kullanıldığında, pH değişimi ile mikrobiyal topluluk yapısı da değişmektedir. Reaktörde pH seviyesini doğrudan etkileyen F/M oranının optimize edilmesiyle, H_2 üretimi yükseltilebilir. F/M oranı 7'den yüksek olduğunda, pH seviyelerinin çok düşmesi sonucu ($< 4,8$) H_2 üretimi ve katı madde bozunumu belirgin şekilde engellenmektedir (Pan vd., 2008).

Düşük F/M oranında hücre büyümesi substrat kaynağı tarafından sınırlandırıldığında, depolama bileşiklerinin sentezi ve tüketimi yükselirken, yüksek F/M oranlarında gözlemlenebilenden daha düşük biyokütle dönüşüm verimleri belirlenmiştir (Lobos vd., 2008). Düşük bir F/M oranı, organik madde giderme verimini ve çamur flokülasyonunu iyileştirerek reaktördeki biyokütlenin çökeltme özelliğini yükseltir. Ancak, F/M oranı çok düşük olursa, hücre büyümesi sınırlanır ve çamur deflokülasyonu da meydana gelebilir (Liu vd., 2012). El-Sayed vd. (2025) tarafından farklı F/M oranlarında (1–6) uygulanan makromolekül bileşenleri farklı atıkların ANÇ'sinde uygulanan en düşük F/M=1 oranında en yüksek CH_4 verimine ulaşılmıştır. F/M oranının yükseltilmesi ile CH_4 üretim veriminin azaldığı belirlenmiştir.

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Atıksu içeriğinde çevresel açıdan sorun teşkil eden organik maddelerin enerji kaynağı olarak kullanılabileceği uygun ve ekonomik metotların, gelecekte enerji sorununu çözümde değerlendirilmesi gerekmektedir. Doğada oksijen bulunmayan, organik madde ve anaerobik bakterilerin yaşamı için uygun ortamlarda gerçekleşen süreç, yüksek organik madde içeriğine sahip atık maddelerin ve atıksuların arıtımında başarılı olarak uygulanmaktadır. Biyogaz üretilmesi, düşük hacimli ve kararlı çamur, koku salınımı ve patojen kontrolü ve nutrient açısından zengin atıksu eldesi anaerobik sürecin olumlu tarafları olarak görülürken, organizmaların yavaş büyümesi sonucu uzun reaksiyon süreleri ve süreç kontrol güçlükleri söz konusudur.

Anaerobik reaksiyonda yer alan organizmaların farklı işlevleri vardır ve mikrobiyal gruplar arasında metanojenlerin en yavaş büyüme hızına sahip olması süreçte hız sınırlayıcı aşama olarak görülmesine rağmen atık içeriğinde kompleks organik maddelerin bulunması durumunda hidroliz hız sınırlayıcı adımdır. Biyoçamur çürütme ile yapılan çalışmalarda da genellikle hidroliz aşaması hız sınırlayıcı olarak belirlenmiştir.

OYH ve ÇYH, reaktöre uygulanan kirletici (substrat) ile organizma arasındaki dengeyi gösterir ve çıkış suyu kalitesini, reaksiyon sonucu oluşan çamur özelliklerini, reaksiyonda yer alan organizmaların bileşiminde etkindir.

Reaktör, işletim koşullarına göre uygun organik yüklemde işletilmediğinde süreç verimi düşmektedir. Atıksuların arıtımında OYH, anaerobik süreçte yer alan farklı bakterilerin aktivitelerini etkilemektedir. Uygun çalışma koşullarında artan OYH, biyogaz veriminde iyileşme, mikroorganizma substrat tüketim hızının iyileşmesinden kaynaklanırken, düşük organik beslenmesi, biyogaz veriminde azalmalara neden olmaktadır. Optimum OYH üzerindeki yüklemelerde ise UYA tüketim hızını aştığında, reaktörde yeterli alkalinite bulunmadığında, metanojenler için toksik seviyeyi aşan UYA birikimi ile organik madde giderme ve enerji kaynağı CH₄ üretim veriminde düşmeler görülmektedir. Düşük yüklemelerde ise daha düşük biyokütle dönüşüm verimleri elde edilmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Abdeslahian, P., Lim, J.S., Ho, W.S., Hashim, H., Lee, C.T. (2016). Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 60, 714–723. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.117>.
- [2] Akunna, J.C. (2018). Anaerobic waste-wastewater treatment and biogas plants: a Practical Handbook, first ed. CRC Press/Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, 48 p. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781351170529/anaerobic-waste-wastewater-treatment-biogas-plants-joseph-chukwuemeka-akunna>.
- [3] Aslan, S., Alhraishawi, A. (2025) Improving the energy balance between microwave pretreatment and anaerobic digestion with centrifuged biosludge. Bioresources and Bioprocessing, 12:109. <https://doi.org/10.1186/s40643-025-00903-7>.
- [4] Aslan, S., Alhraishawi, A., Öztürk, M. (2025). Effects of microwave irradiation at various temperatures on biosludge disintegration. International Journal of Environmental Health Research, 35, 3, 661–679. <https://doi.org/10.1080/09603123.2024.2368138>.

- [5] Borja, R., Banks, C. J., Wang, Z. (1995). Effect of organic loading rate on anaerobic treatment of slaughterhouse wastewater in a fluidised-bed reactor. *Bioresource Technology*, 52, 2, 157-162. [https://doi.org/10.1016/0960-8524\(95\)00017-9](https://doi.org/10.1016/0960-8524(95)00017-9).
- [6] Brioukhanov, A. L., Netrusov, A. I., & Eggen, R. I. (2006). The catalase and superoxide dismutase genes are transcriptionally up-regulated upon oxidative stress in the strictly anaerobic archaeon *Methanosarcina barkeri*. *Microbiology*, 152(6), 1671-1677. <https://doi.org/10.1099/mic.0.28542-0>.
- [7] Chernicharo C. A. L. (2007). Anaerobic reactors. *Bioogical Wastewater Treatment Series Volume 4*, 175 p. Published by IWA Publishing, London, UK.
- [8] Cremonez, P.A., Teleken, J. G. Meier, T. R. W., Alves, H. J. (2021). Two-Stage anaerobic digestion in agroindustrial waste treatment: A review, *Journal of Environmental Management*, 281, 2021, 111854, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111854>.
- [9] Çinçin, R.G.Y., Ağdağ, O.N. (2019). Besi çiftliği atıksularının anaerobik/aerobik yöntemlerle arıtılabilirliği, *Pamukkale Univ Muh Bilim Derg*, 25(8), 922-928, (Uluslararası Kentsel Su ve Atıksu Yönetimi Sempozyumu (UKSAY)-2018 Özel Sayısı). doi: 10.5505/pajes.2019.80474
- [10] Dai, Z., Heidrich, E. S., Dolfing, J., Jarvis, A.P. (2019). Determination of the relationship between the energy content of municipal wastewater and its chemical oxygen demand. *Environmental Science and Technology Lettres*, 6, 396–400. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.9b00253>.
- [11] El-Sayed, A., Ismail, A., Rabii, A., Hamze, A., Hamza, R. A., Elbeshbishy, E. (2025). Biochemical Methane Production Potential of Different Industrial Wastes: The Impact of the Food-to-Microorganism (F/M) Ratio. *Processes*, 13(3), 802. <https://doi.org/10.3390/pr13030802>
- [12] Fetzer, S., Bak, F., Conrad, R. (1993). Sensitivity of methanogenic bacteria to oxygen and desiccation from paddy soil. *FEMS Microbiol*, 12, 107-115.
- [13] Ghangrekar, M.M., Asolekar, S.R., Joshi, S.G. (2005). Characteristics of sludge developed under different loading conditions during UASB reactor start-up and granulation, *Water Res.* 39 (2005) 1123–1133. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.12.018>.
- [14] Hadiyanto, A., Budiyo, B., Johari, S., Hutama, I., Hasyim, W. (2015). The effect of F/M ratio to the anaerobic decomposition of biogas from production from fish offal waste. **Waste Technology**. 3, 2, 58-61. <http://dx.doi.org/10.14710/3.2.58-61>.
- [15] Kainthola, J., Kalamdhad, A.S., Goud, V.V. (2019). A review on enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic biomass by different enhancement techniques. *Process Biochem.* 84, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.05.023>.
- [16] Kiener, A., and Leisinger, T. (1983). Oxygen sensitivity of methanogenic bacteria. *Systematic and Applied Microbiology*. 4(3), 305-312. [https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(83\)80017-4](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(83)80017-4).
- [17] Leicester, D., Amezaga, J., Heidrich, E. (2020). Is bioelectrochemical energy production from wastewater a reality? Identifying and standardising the progress made in scaling up microbial electrolysis cells. *Renewable and Sustainable Energy Review*. 133. 110279, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110279>

- [18] Li, A.J., Li, X.Y., Yu, H.Q. (2011). Effect of the food-to-microorganism (F/M) ratio on the formation and size of aerobic sludge granules, *Process Biochem.* 46, 2269–2276. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.09.007>.
- [19] Li W-W, Yu H-Q, Rittmann BE. 2015. Chemistry: reuse water pollutants. *Nature.* 528, 29–31. <https://doi.org/10.1038/528029a>.
- [20] Liu, J-h. Zhang, W-d., Liu, S-Q., Zhao, X-L., Yin, F., Liu, J., Xu, L., Chen, Y-B., Yang, H. (2014). The effect of food-microorganism (F/M) ratio on gas properties in batch biogas fermentation with walnut peel. *Advanced Materials Research.* 937, 291-296. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.937.291.
- [21] Liu, Y., Liu, H., Cui, L., Zhang, K. (2012). The ratio of food-to-microorganism (F/M) on membrane fouling of anaerobic membrane bioreactors treating low-strength wastewater. *Desalination.* 297, 97-103, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.04.026>.
- [22] Lobos, J., Wisniewski, C., Heran, M., Grasmick, A. (2008). Sequencing versus continuous membrane bioreactors: effect of substrate to biomass ratio (F/M) on process performance, *J. Membr. Sci.* 317, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.08.041>.
- [23] Mata-Alvarez, J, Dosta, J., Romero-Guiza, M.S., Fonoll, X., Peces, M., Astals, S. A. (2014). critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 36, 412–427. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.039>.
- [24] Musa, M. A., Idrus, S., Hasfalina, C. M., & Daud, N. N. N. (2018). Effect of Organic Loading Rate on Anaerobic Digestion Performance of Mesophilic (UASB) Reactor Using Cattle Slaughterhouse Wastewater as Substrate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10), 2220. <https://doi.org/10.3390/ijerph15102220>.
- [25] Nguyen, M-L. T., Hung, P-C. Vo, T-P., Lay, C-H., Lin, C.-Y. (2021). Effect of food to microorganisms (F/M) ratio on biohythane production via single-stage dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy.* 46, 20, 11313-11324. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.127>.
- [26] Nie, Y., Tian, X., Zhou, Z., Li, Y-Y. (2017). Impact of food to microorganism ratio and alcohol ethoxylate dosage on methane production in treatment of low-strength wastewater by a submerged anaerobic membrane bioreactor. *Frontiers of Environmental Science & Engineering.* 11, 6. <https://doi.org/10.1007/s11783-017-0947-1>.
- [27] Pan, J., Zhang, R., El-Mashad, H. M., Sun, H., Ying, Y. (2008). Effect of food to microorganism ratio on biohydrogen production from food waste via anaerobic fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy.* 33, 23, 6968-6975. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.07.130>.
- [28] Pereira, E. L., Borges, A. C., & da Silva, G. J. (2022). Effect of the Progressive Increase of Organic Loading Rate in an Anaerobic Sequencing Batch Reactor for Biodiesel Wastewater Treatment. *Water.* 14(2), 223. <https://doi.org/10.3390/w14020223>.
- [29] Roychowdhury, S., Cox, D., Levandowsky, M.. (1988). Production of hydrogen by microbial fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy.* 13, 7, 407-410, [https://doi.org/10.1016/0360-3199\(88\)90126](https://doi.org/10.1016/0360-3199(88)90126).

- [30] Speece, R. E. (1996). Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters. Nashville, Tennessee, Archae Press. 393 p.
- [31] Tay, J.H. and Yan, Y.G. (1996). Influence of substrate concentration on microbial selection and granulation during start-up of upflow anaerobic sludge blanket reactors, Water Environ. Res. 68 (1996) 1140–1150. <https://doi.org/10.2175/106143096X128540>.
- [32] Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2004). Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th edition, Boston:McGraw-Hill. 1819p.
- [33] Van Lier J.B. Mahmoud, N., Zeeman G. (2008). Anaerobic wastewater treatment: Principles Modelling and Design, Edited by M. Henze, M.C.M. van Loosdrecht, G.A. Ekama and D. Brdjanovic.ISBN:9781843391883. Published by IWA Publishing, London, U.K.

AEROBİK SÜREÇLERDE MİKROORGANİZMA TÜRÜ/BİLEŞİMİNE BESİ/MİKROORGANİZMA (F/M) ORANI ETKİSİ

Şükrü Aslan

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Böl.,
saslan@cumhuriyet.edu.tr–ORCID: 0000–0001–8735–8029

ÖZET

Biyolojik yöntemler kentsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında yaygın olarak uygulanmaktadır. Biyolojik arıtmada, askıda, bağlı (yapışık) ve hibrit reaktörlerde organik madde ve nutrientlerin (azot bileşikleri ve fosfor) giderimi aerobik, anaerobik ve anoksik ortamlarda başarılı olarak gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada aerobik askıda büyüme süreçlerinde tasarım parametresi olan katı alıkonma süresi (SRT) ile ilişkili besi/mikroorganizma (F/M) oranının, biyolojik reaktör tasarımında, geliştirilen biyokütle tür ve bileşimine etkisi incelenmiştir.

Atıksu içeriğinde bulunan organik madde, belirli aralıkta seçilen F/M oranlarında işletilen biyoreaktörde giderilmekte ve yüksek çıkış suyu kalitesi sağlanmaktadır. Düşük F/M oranlarında, biyoreaktöre giren atıksu içeriğindeki substrat miktarı, reaktördeki yüksek miktardaki biyokütlenin gereksinim duyduğu miktardan daha düşük olduğundan, organizma açlık evresinde çalıştırılmakta, oluşan biyokütle organik madde içeriği azalmakta ve daha kararlı biyoçamur elde edilmektedir. Biyoreaktör tipleri için belirlenen seviyelerin üst limitlerinde olmak üzere yüksek F/M oranlarında ise reaktör hacmi daha düşük, biyokütle organik madde içeriği yüksek ve kararsız biyoçamur oluşmaktadır.

Organik madde ve nutrient gideriminin hedeflendiği koşullarda ise biyoreaktör, düşük F/M oranlarında işletilmelidir. Yüksek değer ile karşılaştırıldığında, düşük F/M oranlarında reaksiyon süresi uzadığından biyoreaktör hacmi yükselmekte, çözünmüş oksijen tüketimi içsel solunum gereksinimi sonucu artmaktadır. Düşük F/M oranında, SRT uzamakta ve yavaş büyüme hızına sahip organizmaların toplam biyokütle içeriğindeki oranı artmaktadır. F/M oranına göre ortamda organizma türü değişmektedir. Yüksek F/M oranlarında işletim koşullarına bağlı olarak (atıksu içeriği, çözünmüş oksijen derişimi, pH vd.) flok oluşturan organizmaların ipliksilere göre baskın olmasından biyoçamur çökelme kalitesi iyileşmekte ve kaliteli çıkış suyu elde edilmektedir. F/M oranı hücre dışı polimerik madde (EPS) oluşumunu ve içeriğinde protein ve polisakkarit miktarında ve sonuçta çamur çökelme özelliklerinin değişmesine neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aerobik süreçler, biyolojik arıtım, besi/mikroorganizma (F/M) oranı, katı alıkonma süresi (SRT).

**THE EFFECT OF FOOD /MICROORGANISM (F/M) RATIO ON
MICROORGANISM SPECIES/COMPOSITION IN AEROBIC PROCESSES**

Şükrü Aslan

Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Sivas Cumhuriyet
University, Türkiye

saslan@cumhuriyet.edu.tr–ORCID: 0000–0001–8735–8029

ABSTRACT

Biological treatment of urban and industrial wastewaters is widely applied. In the biological treatment, the removal of organic compounds and nutrients (nitrogen compounds and phosphorus) is successfully achieved in aerobic, anaerobic, and anoxic conditions in the suspended, attached, and hybrid reactors. In this study, the effect of food/microorganism (F/M) ratio related to solid retention time (SRT), which is a design parameter in aerobic suspended growth processes, on the species and composition of biomass developed in the biological reactor design was investigated.

Organic compounds in the wastewater is removed in bioreactor operated at selected F/M ratios within a specific range, ensuring high effluent water quality. At low F/M ratios, since the amount of substrate in wastewater entering the bioreactor is lower than the amount required by the high amount of biomass in reactor, the organism is operated in starvation phase, the organics content of biomass decreases and more stable biosludge is obtained. At high F/M ratios, at the upper limits of levels determined for bioreactor types, lower reactor volume, higher biomass organic contents and unstable biosludge are obtained.

In conditions where organic compounds and nutrient removal is targeted, the bioreactor should be operated at low F/M ratios. Compared to high ratios, at low F/M ratios, increase of the bioreactor volume and dissolved oxygen consumption as a result of reaction time and internal respiratory requirement, respectively. In relation with the SRT, at low F/M rates, the biomass in system and the proportion of organisms with slow growth rate in the total biomass content are increased.

Depending on the operating conditions (wastewater content, dissolved oxygen concentration, pH, etc.), biosludge sedimentation and effluent water quality improves due to the dominance of floc-forming organisms over filamentous at high F/M ratios. The F/M ratio causes the formation of extracellular polymeric substance (EPS) and the variation of protein and polysaccharide ratio in EPS, resulting in changes in the sludge sedimentation properties.

Keywords: Aerobic process, biological treatment, food/microorganism (F/M) ratio, solids retention time (SRT).

1. GİRİŞ

Alıcı ortamlara verilmeden önce atıksu kalitesinin iyileştirilmesi, daha sağlıklı bir çevre ve su kaynaklarının korunması açısından önemli olduğundan yasal olarak düzenlemeler yapılmıştır. Alıcı su ortamlarında kalitenin kötüleşmesi sonucu organik maddelerin giderimi yanında nutrientlerin (amonyum ve fosfor) olumsuz etkilerini azaltmak için arıtılması gerekmektedir. Atıksu içeriğindeki organik madde ve nutrientlerin birlikte gideriminde biyolojik yöntemler, düşük ve yüksek debide atıksu üretilen yerleşim birimlerinde tercih edilmektedir.

Kentsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında yaygın olarak askıda, bağlı ve hibrit biyolojik yöntemler uygulanmaktadır. Biyolojik reaktörlerin tasarımında arıtılması hedeflenen kirleticilerin su ortamından uzaklaştırılabilmesi için uygun mikroorganizmaların geliştirilebilmesi, uygun katı alıkonma süresi (SRT) ve SRT ile ilişkili Besi/Mikroorganizma (F/M) oranlarının (Orhon ve Artan, 1994) seçimi ile mümkündür.

F/M oranı, süreç tasarımı ve çalışma koşullarını karakterize etmek için yaygın olarak kullanılan bir parametredir ve Eşitlik 1 de sunulan formüle göre hesaplanır (Tchobanoglous vd., 2004).

$$F/M = \frac{Q \times S_0}{V_r \times X}$$

(1)

denklemden Q/V_r ifadesi hidrolik alıkonma süresi (HAS, θ_h) olarak düzenlenirse Eşitlik 2 elde edilir.

$$F/M = \frac{S_0}{\theta_h \times X}$$

(2)

Formülde, F/M = substratın biyokütleyle oranı (g BOİ/g UAKM.gün), X = havalandırma havuzundaki biyokütle derişimi (kütle/hacim), S_0 : Substrat derişimi (kütle/hacim), Q : debi (hacim/zaman); UAKM: uçucu askıda katı madde derişimi (biyokütlenin organik kısmı) (kütle/hacim).

Bildiri içeriğinde AKM: askıda katı madde (MLSS); KOİ: kimyasal oksijen ihtiyacı; BOİ: biyolojik oksijen ihtiyacı, kısaltmaları olarak kullanılmıştır.

Çıkış suyu substrat derişimi, giriş derişimi ile karşılaştırıldığında çok düşük olduğundan ihmal edilebilir (sıfır, $S_e \approx 0$) olduğundan, F/M pratikte spesifik substrat giderim hızına eşittir ve Eşitlik 3 ile ilişkilendirilebilir (Orhon ve Artan, 1994).

$$\frac{1}{SRT} \cong Y_o(F/M)$$

(3)

Biyolojik reaktörün uygun tasarımı ve işletimi ile giriş atıksu içeriğinde mevcut kirleticiler son ürünlere ve biyokütleyle dönüştürülür. Biyolojik reaktörde üretilen biyokütlenin uzaklaştırılmasında sistemin önemli aşaması çökeltmesi ve sudan ayrılmasıdır. Biyolojik reaktörden gelen biyokütle ve su karışımının (karışım sıvısı), çökeltim havuzunda ayrılması sağlanarak, arıtılmış su, çökeltim savaklarından uzaklaştırılır. Biyolojik reaktör verimi, çökeltim tankının performansı ile yakından ilişkilidir. Biyolojik reaktör organik madde

gideriminde iyi performans göstermesinden bağımsız olarak, çökeltimin iyi tasarılanmaması/işletilmemesi, çıkış suyunda katı madde yükselmesine ve dolayısıyla çıkış su kalitesinin bozulmasına neden olur. Çökeltim havuzu tabanından biyoçamurun bir kısmı, reaksiyonu gerçekleştirecek organizma miktarını giriş suyu substrat yüküne bağlı olarak yeterli seviyede olmasını sağlamak için biyolojik reaktöre geri devredilirken, fazla olan kısım, çamur arıtımına gönderilir (atık çamur).

Aerobik askıda büyüme süreçlerinde F/M oranı tasarım parametresidir ve literatürde çalışılmasına rağmen Türkçe kaynaklarda biyokütle tür ve içeriğindeki değişimlere etkisi konusunda yeterli sayıda kaynak bulunmamaktadır. Bu çalışmada atıksuların biyolojik arıtımında F/M oranı incelenmiş ve oluşan biyokütle bileşimine, türüne ve çökeltme özelliklerine etkisi hakkında bilgi verilmiştir.

2. BİYOLOJİK REAKSİYONDA F/M ORANININ BELİRLENMESİ

Hedeflenen arıtma verimine ulaşmak, tasarımda belirlenen F/M oranını temin etmek için çökeltim tabanından biyolojik çamur, reaktöre geri devredilir. Geri devir ile biyolojik reaktörde büyümesi hedeflenen organizmalara göre SRT ayarlanarak, yeterli sayıya ulaşılması temin edilir. Mevsimsel değişimlere bağlı olarak organizma aktivitesinin azaldığı düşük hava sıcaklıklarında, çıkış suyu kalitesini sağlamak üzere biyoçamur geri devir oranı yükseltilerek organizma sayısı biyolojik reaktörde arttırılır. Yüksek SRT’de reaktöre biyoçamur geri devir oranı arttırıldığından F/M oranı azalır, yüksek F/M’de ise çökeltim havuzundan geri devir oranı azaltıldığından SRT düşer.

Biyolojik reaktöre sürekli olarak substrat girişi ile mikroorganizmalar büyür ve sistemde sürekli olarak çoğalır. Mikroorganizmaların süresiz olarak çoğalması durumunda, biyolojik reaktörde mikroorganizma aşırı derişimlere ulaşabilir ve aerobik reaktörde oksijen transferi kısıtlanır. Ayrıca, çökeltim tankı aşırı yüklenir ve katı maddeler yeterince çökmez ve çıkış suyuna karışarak kalitesini düşürür. Sistemi dengede tutmak için biyolojik reaktörde substrat tüketimi ile artan biyokütlenin, günlük üretilen miktarının çamur atımı ile uzaklaştırılması gerekir.

Biyolojik reaktör tasarımı belirli F/M oranlarına göre yapılır. Havalandırma tankının fiziksel yapısı ve girişlerin konumuna göre modifikasyonları Çizelge 1’de sunulmuştur. Yüksek F/M oranlarında mikrobiyal büyüme artar (Lobos vd., 2008). Mikroorganizmaların birim zamanda substratı tüketme kapasitesi sınırlı olduğundan, biyolojik reaktör tipleri için belirlenen F/M oranının üzerindeki değerlerde, sistemdeki biyokütlenin tüketim kapasitesinden daha fazla biyolojik olarak parçalanabilir organik madde girişi olacağından çıkış suyu kirletici derişimi yükselir. Biyolojik reaktöre giren organik madde miktarı, organizma substrat tüketim kapasitesini aşmayacak uygun seviyede yüksek F/M oranına sahip olduğunda, biyolojik reaksiyon hızla ilerler ve organik madde akış hızıyla birlikte azalması, çökeltme performansını yükseltir (Harada ve Hidayat, 2021). Düşük F/M değerlerinde ise substrat miktarı organizma substrat tüketim kapasitesinden düşük olduğundan mikroorganizma giriş atıksuyundaki organik maddenin neredeyse tamamını ve kendi organik hücresel materyallerini tüketir (içsel solunum).

Düşük F/M oranlarında işletilen reaktörde organizma büyümesi için yeterli organik madde bulunmadığından organizma açlık modunda işletilir ve içsel solunum sonucu biyokütle organik madde içeriği düşer. Yüksek F/M oranlarında işletilen klasik aktif çamur (KAÇ) sisteminde çamur stabilizasyonu ayrı ünite (çamur arıtımı çürütücülerde, genellikle anaerobik ortamda)

yapılırken, uzun havalandırılmalı düşük F/M oranlarında çalıştırılan reaktörlerde içsel solunum ile daha kararlı çamur elde edilmektedir. Sperling, (2007) içsel solunum için ek oksijen tüketiminin, giriş atıksuyundaki organik maddenin asimilasyonu için gereken tüketimden daha büyük olabileceğini belirtmiştir.

Düşük F/M oranlarında işletilen (yüksek SRT 10~20 gün) organik madde ve biyolojik azot gideriminin eş zamanlı gerçekleştirildiği aerobik reaktörlerde elde edilen biyolojik çamurun düşük anaerobik parçalanma ve düşük metan (CH₄) üretimi nedeniyle anaerobik çürütülmesi önemli güçlüklerle (Chen vd., 2020) ve ekonomik açıdan düşük verime yol açabilir (Bolzonella vd., 2005). Yüksek F/M (düşük SRT $\approx$ 5 gün) işletilen aerobik biyolojik reaktörde hücreler arasındaki hücre dışı polimerik maddelerin (EPS) gevşek ve hücreler veya koloniler birbirine gevşek şekilde bağlanmakta, uzun SRT’de ise (40 gün), çamur hücreleri arasındaki EPS nispeten daha yoğun ve hücreler veya koloniler daha sıkı bir şekilde bağlanarak organik bir bütün oluşturduğundan enzimlerin ve mikroorganizmaların hücre içi ve dışındaki organik maddelere erişimi kısıtlanmakta ve atık çamurun işlendiği anaerobik çamur çürütme performansı engellenmektedir (Chen vd., 2020).

F/M oranı, KAÇ ve yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktörler (YAAÇYR) için genellikle 0,25–0,5 kg BOI/kg UAKM.gün, uzun havalandırma aktif çamur sisteminde ise 0,07–0,15 kg BOI/kg UAKM.gün aralığındadır (Tchobanoglous vd., 2004). Düşük F/M değerleriyle ilişkili yüksek SRT’ler de ise iyi biyoflokülasyon ve düşük atıksu KOİ’si için optimum SRT 2–8 gün aralığında uygundur (Rittmann, 1987).

Sıcak iklim bölgelerinde, YAAÇYR tipi reaktörlerden çıkan atıksuyun son arıtımında aktif çamur (geleneksel SRT $\approx$ 6–10 gün) yer almaktadır. Uygulamada birincil çökeltim tankı yerine anaerobik bir reaktör bulunur. Aktif çamur sisteminde oluşan ve henüz stabilize olmamış fazla aerobik çamur, anaerobik çamurla birlikte yoğunlaştırma ve çürütmeye tabi tutulduğu YAAÇYR’ne yönlendirilir. Bu aerobik fazla çamur akışı, giriş akışına kıyasla çok düşük olduğundan, YAAÇYR’ünde işletimde aksama olmaz. Anaerobik reaktör çıkış atıksuyu son arıtımında en uygun seçenek, düşük SRT’de işletilen KAÇ önerilmektedir (Sperling, 2007).

Geleneksel sistemde, SRT, 4–10 gün, F/M oranı 0,25 ila 0,50 kg BOI/kg UAKM.gün aralığında ve reaktördeki θ_h , 6–8 saat civarındadır. Bu SRT’de işletilen sistemden uzaklaştırılan fazla çamurdaki biyokütle, hücrelerinde yüksek düzeyde biyolojik olarak parçalanabilir organik madde içerir (Sperling, 2007).

Geleneksel sistemdeki gibi ham atıksudan aynı BOI yükünün uygulanmasına rağmen SRT uzun süre yaklaşık 18–30 gün (uzun havalandırma) uygulandığında, bakterilere daha düşük substrat yüklemesi yapıldığında (F/M= 0,07–0,15 kg BOI/kg UAKM.gün), reaktördeki biyokütle miktarı (kg UAKM) geleneksel aktif çamur sistemindekinden daha yüksektir, reaktörün hacmi de daha büyüktür ve karışım sıvısının biyolojik reaktörde θ_h yaklaşık 16–24 saattir (Sperling, 2007).

Çizelge 1. Aktif çamur süreçlerinde yaygın uygulanan tipik tasarım parametreleri (Tchobanoglous vd., 2004)

Süreç	Reaktör tipi	SRT (gün)	F/M (kg BOI/kg AKM.gün)	Hacimsel yükleme (kgBOI/m ³ .gün)	AKM (mg/L)	θ_h (saat)	Geri devir oranı (%)
Yüksek hızlı havalandırma	Piston akım	0,5–2	1,5–2,0	1,2–2,4	200–1.000	1,5–3,0	100–150
Temas (kontakt) stabilizasyon	Piston akım	5–10	0,2–0,6	1,0–1,3	1.000–3.000 ^a 6.000–10.000 ^b	0,5–1,0 ^a 2–4 ^b	50–150
Yüksek saflıkta oksijen	Piston akım	1–4	0,5–1,0	1,3–3,2	2.000–5.000	1–3	25–50
Klasik piston akım	Piston akım	3–15	0,2–0,4	0,3–0,7	1.000–3.000	4–8	25–75 ^c
Kademeli besleme	Piston akım	3–15	0,2–0,4	0,7–1,0	1.500–4.000	3–5	25–75
Tam karışım	Tam karışım	3–15	0,2–0,6	0,3–1,6	1.500–4.000	3–5	25–100 ^c
Uzun havalandırma	Piston akım	20–40	0,04–0,1	0,1–0,3	2.000–5.000	20–30	50–150
Oksidasyon havuzu	Piston akım	15–30	0,04–0,1	0,1–0,3	3.000–5.000	15–30	75–150
Kesikli boşaltma	Kesikli	12–25	0,04–0,1	0,1–0,3	2.000–5.000 ^d	20–40	Uygulanmaz
Ardışık kesikli reaktör	Kesikli	10–30	0,04–0,1	0,1–0,3	2.000–5.000 ^d	15–40	Uygulanmaz
Ters akımlı havalandırma sistemi	Piston akım	10–30	0,04–0,1	0,1–0,3	2000–4000	15–40	25–75 ^c

a: temas tankı için AKM ve alıkonma süresi

b: stabilizasyon tankı için AKM ve alıkonma süresi

c: Nitrifikasyonda oran %25–%50 yükseltilebilir

d: ortalama SRT’de uygulanır.

3. BİYOÇAMUR ÖZELLİKLERİNE F/M ETKİSİ

Atıksu içeriğinde mevcut kirleticileri (organik madde ve nutrient) uzaklaştırabilmek için biyolojik reaktör uygun SRT ve F/M oranlarında ve ortamda (anaerobik, aerobik ve anoksik) işletilmelidir. Organik yük ve birim organik yük başına çözünmüş oksijen (ÇO) (ÇO/(F/M)) oranı aktif çamur yumaklarında boyut dağılımını etkileyen en önemli iki faktördür. Aktif çamur yumaklarının büyüklüğünün 0,17–1,8 kg KOİ/kg AKM.gün organik yükleme aralığında değişikliklerle doğrudan orantılı olduğu belirlenmiştir. Yumakların büyüklüğünün, organik yükleme yükseldikçe arttığı tespit edilmiştir (Barbusiński ve Kościelniak, 1995).

Oswald vd., (1953) atıksu arıtımında simbiyotik alg bakterilerinin, HAS ve organik yükün, alg büyümesi için temel parametreler olarak belirtmiştir. Kısa HAS ve yüksek yükleme koşullarında (yüksek F/M) logaritmik büyüme evresinde olmalarından alglerin büyümesi desteklenir. Daha uzun HRT'lerde ise algler, daha yavaş da olsa çoğalmakta, hücrelerin daha küçük olduğu kararlı büyüme evresine ulaşmaktadır (Medina ve Neis, 2007).

F/M oranındaki değişimlerin serbest yüzen alg derişimi üzerindeki etkisi, yüksek F değerlerinde (yüksek F/M) çok önemli olmasına rağmen floklara bağlı alg derişiminde değişim belirlenememiştir. Düşük F/M oranında ise önemli ölçüde daha düşük serbest yüzen alg içeriği ve biyokütleye daha yüksek alg katılımı gerçekleşmektedir. Çamur hacim indeksi (ÇHI) olarak tanımlanan simbiyotik biyokütlenin çökeltme özelliği, F/M oranındaki değişimden önemli ölçüde etkilenmemektedir. Toplam organik karbon (TOK) giderme verimi F/M oranlarından önemli ölçüde etkilenmezken, düşük F/M'de, daha yüksek toplam azot (TN) giderimi gözlenmiştir. Alglerin floklarda yoğun olarak bulunduğu yüksek ışık derişimlerinde atıksudaki TN derişiminin %60'a kadar daha düşük olduğu ve hareketsizleştirilmiş alglerin, serbest yüzen alglerden daha yüksek aktivitesi ile verimin arttığı tespit edilmiştir (Medina ve Neis, 2007).

İşletim koşullarına göre biyolojik reaktörde geliştirilen organizma topluluğunun iyi çökeltmesi, uygun oranda flok oluşturan ve ipliksi (filamentli) organizmaların varlığına bağlıdır. Pratikte, aktif çamur sistemlerinin kontrolü organik yükleme temelinde gerçekleştirilir (Barbusiński ve Kościelniak, 1995). Sperling, (2007), yüksek F/M oranlarında, flok oluşturan bakterilerin, ipliksi bakterilere kıyasla daha yüksek miktarda substratı asimile yetenekleri nedeniyle biyolojik reaktörde baskın olduğunu açıklamıştır. Barbusinski ve Koscielniak (1995), organik yükteki artışın (yüksek F/M) flok boyutunda artışa neden olduğunu gözlemlemiş ve Liao vd. (2001), uzun SRT'lerde, kısa SRT'lerden elde edilenlere kıyasla daha yüksek stabiliteye sahip floklar ürettiğini açıklamıştır (Medina ve Neis, 2007).

Aktif çamurda flok oluşturan bakterilere göre ipliksi bakterilerin büyümelerinin teşvik edilmesi atıksu özellikleri (yüksek yağ derişimi, noniyonik yüzey aktif maddeler, etoksilatlar ve yağ asitleri gibi diğer substratlar), atıksu özelliklerindeki dalgalanmalar, havalandırma hızı ve F/M oranı gibi çevresel faktörler, tesis tasarımı ve işletme koşulları önemli rol oynamaktadır (Chua vd., 1996). F/M oranlarının 0,5 mg BOI/mg AKM.gün'den düşük olduğu durumlarda, *Nocardia amarae*'nin spesifik büyüme hızı, ipliksi olmayan bakterilere göre çok daha yüksek olduğu bulunmuştur. Klasik aktif çamur süreçlerinde, 0,2–0,6 mg BOI/mg AKM.gün aralığındaki olağan F/M oranlarında sürekli olarak çalıştırılan ortamlarda ipliksi aşırı büyümenin meydana gelebileceğini göstermektedir (Chua vd., 2000). İpliksi organizmaların flok oluşturanlara göre işletim koşullarında büyümelerinin teşvik edilmesi, çamur çökeltme veriminin düşmesine (yüksek ÇHI) ve çıkış suyu kalitesinin kötüleşmesine sebep olmaktadır.

4. AEROBİK ÇAMUR GRANÜLASYONU

Atıksuların biyolojik arıtımında aerobik granülasyon tipik olarak yüksek derişimli toksik endüstriyel atıksuların iyileştirilmesinde uygundur (Adav vd., 2008). Aerobik granül çamur (AGÇ) tipik olarak yüksek organik yükleme oranlarına (yüksek F/M) sahip atıksularda geliştirilir (Yang vd., 2014). AGÇ, mikroorganizmaların düşük büyüme hızları, toksik yüklere karşı yüksek hassasiyeti, düşük sıcaklıklar, pH değişiklikleri, çevresel koşullardaki

dalgalanmalar, biyokütlenin düşük çökme hızı ve genellikle amonyum iyonu (NH_4^+) ve hidrojen sülfür (HS) içeren zararlı anaerobik atıksuyun sonradan arıtılması ihtiyacı gibi anaerobik arıtma süreçlerinin dezavantajlarının üstesinden gelir (Hamza vd., 2018).

AGÇ, küresele yakın mikrobiyal agregatların bir karışımıdır (Wang vd., 2023a) ve kısa çökme süresi, hidrolik kesme kuvveti ve besleme stratejileri gibi uygun işletim koşullarında, mikroorganizmalar hızla çökelen granüller oluşturmak üzere bir araya gelmektedir (Wang vd., 2023b). Reaktörün kompakt tasarımı, üstün çökme özelliği, aerobik granüllerin yüksek organik yüklemeye hızlarına dayanabilme yeteneği ve organik maddelerin ve besin maddelerinin eş zamanlı olarak uzaklaştırılması potansiyeli küçük arazi gereksinimi ve düşük maliyetler nedeniyle, KAÇ süreçlerine kıyasla AGÇ'yi tercih edilebilir kılmaktadır (Hamza vd., 2018; Li vd., 2011; Wang vd., 2023a). Besleme yöntemlerinin (hızlı besleme modeli), hızlı beslemeden sonra anaerobik karıştırma ve anaerobik piston akımlı yavaş besleme AGÇ zenginleştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang vd., 2023b).

Granüler çamurun çökmesi, AGÇ süreçlerinin istikrarlı çalışmasında önemli bir rol oynar. Kompakt, yoğun ve yüksek çökme verimine sahip AGÇ'yi elde etmek ve sürdürmek için, genellikle F/M olarak bilinen çamur yükleme hızının düzenlenmesi hayati önem taşır (Wang vd., 2023a). GAÇ, küçük ve yavaş çökelen çamur yumaklarının seçici olarak uzaklaştırılması yoluyla elde edilebilirken, uzaklaştırılan çamur, reaktörde biyokütle kaybına ve dolayısıyla çamur yükleme hızında artışa ve sonuçta yüksek F/M oranına neden olmaktadır (Li vd., 2011).

Yüksek F/M ($> 0,9 \text{ g KOI/gAKM.gün}$) oranlarında, çamur çökmesinin ve granüler parçalanmaya neden olan ipliksi olmayan çamur şişmesinin kolayca tetiklenebileceği bildirilmiştir (Wang vd., 2023b). İpliksi olmayan çamur şişmesi, çamur yüzeyinin hidrofobikliğini azaltarak çamur çökmesini hızla bozabilen ekzopolisakkaritlerin yoğun birikiminden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, gevşek bağlı ekzopolisakkaritlerin salgılanmasının sınırlandırılmasıyla, granülasyon sürecinde ipliksi olmayan çamur şişmesinin etkili bir şekilde kontrol edildiği kanıtlanmıştır. Bulgular, ekzopolisakkaritlerin ipliksi olmayan çamur şişmesi oluşumuna katkıda bulunduğunu göstermektedir (Wang vd., 2023b).

Yüksek F/M oranlarında, EPS matrisindeki ekzopolisakkarit oranının artmasının, aerobik granülasyon sırasında çamur yüzeyinin zeta potansiyelini ve hidrofobikliğini azalttığını, böylece flokların sıkışması için elektrostatik itmeyi ve enerji bariyerini artırdığını ve ipliksi olmayan çamur şişmesini tetiklediğini ortaya koymuştur. Çamur şişmesi sırasında, enerji kaynağı olarak polisakkarit salgılayan veya tutan mikroorganizmaların sayısı önemli ölçüde artmıştır. Ayrıca, polisakkarit biyosentezinin düzenleyicisi olan mikrobiyal hücre için ikinci habercinin (c-di-GMP), ipliksi olmayan çamur şişmesi sırasında önemli ölçüde arttığı da kanıtlanmıştır. Dinamik topluluk ardışıklığı ve c-di-GMP salgılanması, polisakkarit verimini düzenleyerek ipliksi olmayan çamur şişmesinin oluşumunda önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, ipliksi olmayan şişme gösteren çamurdan elde edilen polisakkaritin, şişme göstermeyen çamurdan elde edilen polisakkarite kıyasla daha yüksek moleküler ağırlığa, viskoziteye ve hidrofiliğe sahip olduğu ve daha kompakt küresel bir konformasyona sahiptir. Polisakkarit, çamur yüzeyinin hidrofobikliğini, elektronegatifliğini ve viskozitesini bozarak ipliksi olmayan çamur şişmesinin oluşumunda çok önemli bir rol oynamaktadır (Wang vd., 2023b).

F/M oranının AGÇ çökeltme performansı üzerindeki etkisi, ipliksi bakterilerin çoğalmasıyla yakından ilişkilidir. AGÇ reaktörlerinin 0,2–6 kg KOI/kg UAKM.gün, F/M aralığında çalışabileceği bildirilmesine rağmen, sağlıklı granülleri korumak için 0,3–0,5 kg KOI/kg UAKM.gün aralığında olduğunu bildiren çalışmalarda bulunmaktadır (Wang vd., 2023a).

Düşük F/M oranına (0,3 g KOI/g AKM.gün) göre yüksek F/M oranında (1,1 g KOI/g AKM.gün) çamur granül oluşumunun, daha kısa sürede oluşmasına rağmen, daha yüksek bir F/M oranında büyük granüller daha hızlı oluşabilse de, büyük granüllerin genellikle daha az kararlı olduğu ve uzun süreli işletmede kırılma, erozyon, yüzme ve mantar oluşumu gibi daha fazla soruna yol açtığı bulunmuştur. KOI gideriminde farklılık görülmemesine rağmen daha fazla yüzey alanına sahip, substrat ve ÇO'in granül içine taşınması için daha düşük kütle taşıma sınırlaması olan küçük granüller içeren reaktörlerde daha büyük granüller bulunan reaktörlere göre önemli ölçüde daha yüksek organik madde alım hızı elde edilmektedir. Bu nedenle, biyolojik arıtım açısından, daha etkili organik parçalama için küçük granüller büyük granüllere göre daha çok tercih edilmektedir. Reaktör işletiminde, başlangıçta yüksek F/M oranı ile büyük granüllerin daha hızlı oluşumunun sağlanması ve daha sonra F/M oranının düşürülmesi sonucu biyoreaktörlerde küçük ve sağlıklı granül oluşumunu korumak basit ve etkili bir başlangıç stratejisi olabileceği belirlenmiştir (Li vd., 2011).

Hamza vd. (2018), F/M 1,5 kg KOI/kg UAKM.gün'ü aştığında AGÇ'nin çökeltme performansında düşüş ve ÇHI'nin 74 mL/g olduğunu, F/M 2,2 kg KOI/kg UAKM.gün'ü aştığında ise ipliksi gelişimi ile çamur çökeltmesinin kötüleştiğini bildirmiştir. 0,23–2,50 kg KOI/(kg UAKM.gün) F/M aralığında, AGÇ'nin mikrobiyal çeşitlilik ve EPS düzenlemesi yoluyla çökeltme performansı iyileştirilebilir. Belirli aralıkta daha yüksek F/M oranları çökeltme performansında düşüşe neden olmasına rağmen, hızlı biyokütle birikimini teşvik eder. Bu nedenle, AGÇ'nin granülasyon aşamasında, çökeltme süresini kısaltmak ve F/M oranını uygun şekilde artırmak, granülasyonu önemli ölçüde hızlandırabilir. Ayrıca, çoğu çalışma, AGÇ işletimi sırasında düşük bir F/M oranının korunmasını önerirken, AGÇ'nin <1,38 kg KOI/kg AKM.gün, F/M koşullarında çalıştırıldığında uygun çökeltme performansı ve arıtma verimi elde edebilir (Wang vd., 2023a).

Pratik uygulamalarda, arıtma kapasitesini artırmak ve atıksu arıtma veriminin yükseltmek için AGÇ prosesinin işletme yükünü uygun şekilde artırmak avantajlı olabilir. Şişme gösteren aktif çamurun depolama kapasitesinin, iyi çökelen çamurunkine kıyasla benzer veya hatta daha yüksek olabilir. Bolluk (yüksek F/M)–açlık (düşük F/M) modunda, ipliksi bakteriler bolluk dönemlerinde depolama için substratları hücre içi polimerlere dönüştürebilir. Depolanan materyal açlık dönemlerinde büyüme için metabolize edilebilir ve böylece diğer ipliksi olmayan bakterilere karşı rekabet avantajı elde edilebilir. AGÇ'nin genel mikrobiyal popülasyonun yaklaşık %50'sini oluşturan ipliksi bakterilerin varlığına rağmen tatmin edici çökeltme performansı, ipliksi bakteri bolluğunun AGÇ çökeltme performansını kötüleştirmeyebileceğini göstermektedir. İpliksi bakteri bolluğu, F/M oranının AGÇ çökeltme performansı üzerindeki etkisini kapsamlı bir şekilde açıklayamaz (Wang vd., 2023a).

Guo vd. (2017), farklı F/M oranları (0,2/0,34/0,67 g KOI/g AKM.gün) için hava taşımali AKR ile yaptıkları çalışmada 0,67 g KOI/g AKM.gün F/M'de, aerobik granüllerin gevşek, kabarık

bir morfolojide ve yüzeyleri pürüzlü ve gözenekli yapılara sahip bazı granüllerin parçalanmış olduğunu ve ipliksi bakterilerin önemli ölçüde çoğalması ile en yüksek CHI değeri olan ≈ 95 mL/g elde edildiğini ve AGÇ'nin çökeltme performansının diğer F/M oranlarına göre bozulduğunu belirlemiştir.

Küçük granüllere kıyasla, daha büyük granüllerin bulunduğu karışım sıvıları daha yoğun hale gelmekte ve çökeltme hızı boyutla birlikte artmaktadır. Düşük F/M oranlarında, biyokütle EPS içeriği yükselmekte ve yüksek F/M oranlarında işletilen reaktörde biyokütle EPS'si daha yüksek protein içeriğine sahiptir (Li vd., 2011).

EPS'nin çamurun yüzey özelliklerinde çok önemli bir etkiye sahip olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Wang vd., 2023b). EPS, hücre agregasyonunu etkileyen, mikrobiyal kümelenme, partikül yapısı stabilitesi ve AGÇ'nin çökeltme performansı ile yakından ilişkilidir. Hücre dışı proteinler ve polisakkaritler, EPS'nin iki ana bileşenidir. Proteinler, EPS'nin %60'ından fazlasını oluşturur ve AGÇ oluşumu ve stabilitesini etkileyen önemli bir faktör olan hidrofobiklik gösterir. Polisakkaritler, uzun zincire ve çok sayıda bağlanma bölgesi olan yan dallı zincirlere sahip bir polimerdir (Yuan vd., 2011). Polisakkaritler, hidrojen bağları ve Ca^{+2} etkileşimi yoluyla zincirler arası çapraz bağlar ve köprü yapıları oluşturabilir. Polisakkaritler granüllerin yapısını ve mekanik dayanım stabilitesini korumak için çok önemli özellikler sergiler (Adav vd., 2008).

Yüksek F/M'lerde, polisakkarit salgılayan viskoz mikroorganizma kolonilerinin büyümesi ile EPS'de artış olabileceği bildirilmektedir. Artan polisakkarit, çamurun hidrofilikliğini yükseltmektedir. İpliksi olmayan şişme sonrası protein/polisakkarit oranının önemli seviyelerde azaldığı ve çamur hidrofobikliği ve zeta potansiyeli üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle düşük protein/polisakkarit oranının çamur agregasyonuna elverişli olmadığı rapor edilmiştir (Wang vd., 2023b).

Organizma içeriğinde hidrofilik polisakkarit yüzde artışı esas olarak çamur yüzeyinin hidrofilikliğini yükseltmesi, çamurun kümelenmesi/sıkıştırılabilirliği için daha yüksek bir enerji bariyeri oluşturmaktadır. Polisakkarit, hem hidrofilik hem de hidrofobik zincirler içeren kopolimerdir (amfifilik polimerler) (Folgado vd., 2020) ve hidrofilik özelliklerin daha fazla olması (Jorand vd., 1998) EPS matrisinde polisakkarit yüzdelерinin artmasıyla çamur hidrofilikliği artmaktadır (Wang vd., 2023b).

Protein içeriğinde önemli bir artışla birlikte AGÇ çökeltme performansı bozulmakta ve şişkin çamur için genel olarak sınır değer olarak kabul edilen 200 mL/g'ın üzerinde CHI değeri görülmektedir (Shi vd., 2022; Song vd., 2022). Çalışmalar, yüksek F/M koşulları altında, hidrofilik polisakkaritin aşırı salgılanmasının da AGÇ çökeltme performansını olumsuz etkileyebileceğini göstermiştir (Wang vd., 2023b; Wu vd., 2018).

Thiothrix ve *Candidatus Competibacter*, AGÇ çökeltme özelliğini etkileyen iki ana bakteri türü olarak tanımlanmıştır. Protein'in zayıflayan hidrofobikliği ve *Thiothrix*'in çoğalması, F/M kademeli olarak arttıkça AGÇ'nin çökeltme performansında bir azalmaya yol açmıştır. Yüksek F/M koşullarında, bol miktarda bulunan jelleşebilen polisakkarit, yüksek miktarda bulunan *Thiothrix*'e bağlanarak biyokütleyi etkili bir şekilde tutmuş, bu da F/M'de kademeli bir azalmaya ve ardından AGÇ çökeltme performansının iyileşmesine neden olmuştur. F/M oranına

göre proteinler ve polisakkarit içeriği ve özellikleri değişmekte ve proteinler ve polisakkaritler granüler çamurun çökeltme performansını değiştirmede önemli rol oynamaktadır. Genel olarak, AGÇ, belirli bir F/M aralığında kendi kendini düzenleme ve çökeltme performansını geri kazanma yeteneği göstermiştir. Mikrobiyal topluluğun ve EPS özelliklerinin, F/M dalgalanmaları sırasında AGÇ çökeltme performansını birlikte etkilemekte ve F/M oranındaki artış, EPS salgılanmasını yükseltmektedir (Wang vd., 2023a).

5. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Biyolojik reaktör tasarım ve işletiminde SRT ile ilişkili F/M önemli bir parametredir. Biyolojik süreç, düşük F/M oranlarında işletildiğinde, reaktörün daha yüksek hacim gereksinimi ve daha yüksek oksijen gereksinimi (yüksek havalandırıcı kapasitesi) olumsuzluk olarak değerlendirilmesine rağmen, ön çökeltim gerektirmemesi, içsel solunum ile daha düşük hacimde ve kararlı çamur elde edilmesi bazı uygulamalarda tercih sebebi olmaktadır. Biyolojik nitrikasyon ile azot giderimi gerektiğinde ise düşük F/M oranlarında (yüksek SRT) tasarım yapmak, ototrofik nitrifikasyon organizmalarının yeterli sayıya ulaşabilmesi için kaçınılmazdır.

Aerobik atıksu arıtımında oluşan biyolojik çamurun organik madde içeriği, biyoçamurun anaerobik çürütülmesinde çamur biyogaz hacmini etkilemekte ve düşük F/M oranlarında işletilen aerobik reaktörden elde edilen biyogaz veriminde azalma meydana gelmektedir.

Biyoreaktör işletim F/M oranı oluşan çamur özelliklerinde değişmelere neden olmakta ve uygun olmayan oranlarda çamur çökeltme özellikleri kötüleşmekte ve sonuçta arıtma tesisi çıkış suyu kalitesi bozulmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Adav, S.S., Lee, D.J., Tay, J.H. (2008). Extracellular polymeric substances and structural stability of aerobic granule. *Water Research*. 42, 1644–1650. doi:10.1016/j.watres.2007.10.013.
- [2] Barbusinski, K. and Koscielniak, H. (1995). Influence of substrate loading intensity on floc size in activated sludge process. *Water Research*. 29, 1703–1710.
- [3] Bolzonella, D., Pavan, P., Battistoni, P., Cecchi, F. (2005). Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: influence of the solid retention time in the wastewater treatment process. *Process Biochemistry*. 40, 1453–1460. doi:10.1016/j.procbio.2004.06.036.
- [4] Chen, S., Yang, D., Dong, B., Li, N., Dai, X. (2020). Sludge age impacted the distribution, occurrence state and structure of organic compounds in activated sludge and affected the anaerobic degradability. *Chemical Engineering Journal*. 384, 123261. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.123261>.
- [5] Chua, H., Tan, K.N., Cheung, M.W.L. (1996). Filamentous growth in activated sludge. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 57, 851–856. <https://doi.org/10.1007/BF02941765>.
- [6] Chua, H., Yu, P.H.F., Sin, S.N., Tan, K.K. (2000). Effect of food: Microorganism ratio in activated sludge foam control. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 84, 1127–1135. <https://doi.org/10.1385/ABAB:84-86:1-9:1127>.
- [7] Folgado, E., Guerre, M., Da Costa, A., Ferri, A., Addad, A., Ladmiral, V., Semsarilar, M. (2020). “One-pot” aminolysis/thia-michael addition preparation of well-defined

amphiphilic pvdf-b-peg-b-pvdf triblock copolymers: self-assembly behaviour in mixed solvents. *Polymer Chemistry*. 11, 401-410. <https://doi.org/10.1039/c9py00970a>.

[8] Guo, N., Zhang, J., Xie, H.-J., Tan, L.-R., Luo, J.-N., Tao, Z.-Y., Wang, S.-G. (2017). Effects of the Food-to-Microorganism (F/M) ratio on N₂O emissions in aerobic granular sludge sequencing batch airlift reactors. *Water*. 9, 7, 477. <https://doi.org/10.3390/w9070477>.

[9] Hamza, R. A., Sheng, Z., Iorhemen, O. T. , Zaghloul, M. S., Tay, J. H. (2018). Impact of food-to-microorganisms ratio on the stability of aerobic granular sludge treating high-strength organic wastewater. *Water Research*. 15, 147, 287-298. doi: 10.1016/j.watres.2018.09.061.

[10] Harada, H., Hidayat, E. (2021). The effects of F/M ratio on in treatment of wastewater from brewery slurry by an anaerobic sequencing batch reactor, 6th International Conference of Food, Agriculture, and Natural Resource (IC-FANRES 2021). *Advances in Biological Sciences Research*. 16, 418-422.

[11] Jorand, F., Boue-Bigne, F., Block, J.C., Urbain, V. (1998). Hydrophobic/hydrophilic properties of activated sludge exopolymeric substances. *Water Science and Technology*. 37 (4–5), 307–315.

[12] Li, An-j, Li, X-y, Yu, H-Q. (2011). Effect of the food-to-microorganism (F/M) ratio on the formation and size of aerobic sludge granules. *Process Biochemistry*. 46, 12, 2269-2276. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2011.09.007>.

[13] Lobos, J., Wisniewski, C., Heran, M., Grasmick, A. (2008). Sequencing versus continuous membrane bioreactors: effect of substrate to biomass ratio (F/M) on process performance. *Journal of Membrane Science*. 317, 1–2, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2007.08.041>.

[14] Medina, M., Neis, U. (2007). Symbiotic algal bacterial wastewater treatment: effect of food to microorganism ratio and hydraulic retention time on the process performance. *Water Science and Technology*. 55, 11, 165-71. doi: 10.2166/wst.2007.351. PMID: 17591209.

[15] Orhon, D and Artan, N. (1994). Modelling of activated sludge systems. Technomic Publishing Company Inc., 587p.

[16] Rittmann, B.E. (1987). A critical evaluation of soluble microbial formation in biological processes. *Water Science and Technology*. 19, 517-528.

[17] Shi, H.X., Wang, J., Liu, S.Y., Guo, J.S., Fang, F., Chen, Y.P., Yan, P. (2022). New insight into filamentous sludge bulking: potential role of AHL-mediated quorum sensing in deteriorating sludge floc stability and structure. *Water Research*. 212, 118096. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118096>.

[18] Song, T., Zhang, X.L., Li, J. (2022). The formation and distinct characteristics of aerobic granular sludge with filamentous bacteria in low strength wastewater. *Bioresource Technology*. 360, 127409. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127409>.

[19] Sperling, M.V. (2007). Activated sludge and aerobic biofilm reactors. IWA Publishing, London (2007).

[20] Tchobanoglous, G., Burton, F.L., Stensel, H.D. (2004). Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th edition, Boston:McGraw-Hill. 1819p.

[22] Wang, G., Huang, X., Wang, S., Yang, F., Sun, S., Yan, P., Chen, Y., Fang, F., Guo, J. (2023a). Effect of food-to-microorganisms ratio on aerobic granular sludge settleability:

Microbial community, potential roles and sequential responses of extracellular proteins and polysaccharides. *Journal of Environmental Management*. 1, 345, 118814. doi: 10.1016/j.jenvman.2023.118814.

[23] Wang, S., Wang, G. Yan, P., Chen, Y., Fang, F., Guo, J. (2023b). Non-filamentous sludge bulking induced by exopolysaccharide variation in structure and properties during aerobic granulation. *Science of The Total Environment*. 876, 162786. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162786>.

[24] Wu, D., Zhang, Z. Yu, Z. Zhu, L. (2018). Optimization of F/M ratio for stability of aerobic granular process via quantitative sludge discharge. *Bioresource Technology*. 252, 150-156, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.12.094>.

[25] Yang, Y.-C., Liu, X., Wan, C., Sun, S., Lee, D.-J. (2014). Accelerated aerobic granulation using alternating feed loadings: alginate-like exopolysaccharides. *Bioresource Technology*. 171, 360–366. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.08.092>.

[26] Yuan, S.-J., Sun, M., Sheng, G.-P., Li, Y., Li, W.-W., Yao, R.-S., Yu, H.-Q. (2011). Identification of key constituents and structure of the extracellular polymeric substances excreted by *Bacillus megaterium* TF10 for their flocculation capacity. *Environmental Science & Technology*. 45 (3), 1152-1157. doi: 10.1021/es1030905.

AN OVERVIEW OF THE STRUCTURE AND ECONOMICS OF SHEEP FARMING IN TURKIYE

Yıldız KEN

Ege University Institute of Science, Bornova-Izmir

yildizken@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2849-9400

Prof. Dr. Sait ENGİNDENİZ

Ege University Faculty of Agriculture Department of Agricultural Economics, Bornova-Izmir

sait.engindeniz@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7371-3330

ABSTRACT

This study examines the structure and economic aspects of sheep farming in Türkiye within the framework of animal population, production quantities, production values, pasture availability, market structure, producer prices, and foreign trade indicators. The data obtained reveal the sector's place within the economic structure. The main material of this study consists of results obtained from previous research on the subject and statistical data published by relevant institutions. According to the study results, the share of sheep products in the total value of animal production remains at approximately 9%, however, the high share of live sheep production value in the total value of livestock production highlights the economic importance of the sector. The stagnation of pasture and grazing areas for many years has been considered a significant problem in terms of production costs and sustainability. Furthermore, it has been determined that the sector largely consists of small-scale family businesses, producers have low bargaining power in the marketing chain, and intermediaries are influential in the market structure. In live sheep foreign trade, a fluctuating structure has been observed over the years, and it has been found that trade is largely conducted with Middle Eastern countries. In conclusion, although the sheep farming sector in Türkiye has significant production potential, structural problems such as pasture scarcity, small-scale business structure, marketing problems, and lack of organization limit the economic efficiency of the sector. Therefore, it has been concluded that policies aimed at protecting pasture areas, strengthening producer organization, and developing high value-added products are of great importance.

Keywords: animal production, sheep farming, production value, economic analysis.

INTRODUCTION

Throughout history, animal-based foods have held a significant place in human nutrition and have been one of the primary sources of protein. Initially obtained through hunting and gathering, animal-based foods gradually began to be produced systematically with the transition to settled life (Ayalp, 2020). The development of agriculture and the cultivation of land contributed to the development of livestock farming, making it an important economic and commercial sector. Especially with the spread of trade, livestock farming has become more than just a food source for many societies; it has also become a significant source of livelihood. The livestock sector is not limited to food production; it also provides raw materials for fields such as textiles, medicine, and cosmetics through by-products like leather, fleece, wool, and intestines. Furthermore, meat and meat products are one of the fundamental protein sources in human nutrition. Today, livestock farming covers 30% of the world's land surface and meets 33% of the global protein demand (Keskinkılıç, 2019; Sert, 2019). Due to its role in meeting the demand for animal products and providing a significant source of livelihood for small family businesses, small ruminant farming plays a critical role in animal production. In this context, sheep farming constitutes a significant branch of small ruminant farming. As the structure and demands of animal production change globally, the role of sheep has begun to shift. The increasing use of cattle in milk production, pigs and chickens in meat production, and artificial fibers in the textile sector have altered expectations for sheep farming (Koca, 2014). According to Turkish Statistical Institute (TURKSTAT) data, the sheep population has decreased by 7.8% and the number of slaughtered animals by 36.2% in the last 30 years (Gürer and Ulutaş, 2021).

The sheep farming sector is of great importance to Türkiye in terms of meeting red meat demand and producing milk and wool. Sheep farming is a significant livestock activity providing four main products: meat, milk, wool, and leather, and stands out particularly for its ability to be carried out efficiently in areas unsuitable for agricultural production. Sheep offer a significant alternative for small-scale, low-capital farms because they can survive in poor-quality pastures and regions where raising cattle is not economically feasible (Morris, 2009; Altınçekiç, 2014). Traditional sheep farming, largely carried out with local breeds, continues to be an important source of livelihood in rural areas. This activity not only has economic value but has also become a part of cultural life (Ünal, 2021). Due to the increasing population, the demand for animal products is also increasing. To meet this demand, it is necessary to investigate other factors besides economic ones that are effective in ensuring the sustainability of sheep farming (Gürer and Ulutaş, 2021; Çiçek et al., 2022).

PURPOSE AND METHODS

The aim of this study is to examine the structure and economic aspects of sheep farming in Türkiye within the framework of animal population, production quantities, production values, pasture availability, market structure, producer prices, and foreign trade indicators, and to determine the sector's place within the economic structure.

The main material of the study consists of results obtained from previous research on the subject and statistical data published by relevant institutions such as FAOSTAT, TURKSTAT, the Ministry of Agriculture and Forestry, and Türkiye Dairy, Meat, Food Industry and Producers Association (SETBIR). The collected statistical data and indicators have been organized, analyzed, and interpreted using tables and figures.

RESULTS AND DISCUSSION

Current Situation and Development of Sheep Farming

One of the key factors determining profitability and productivity in animal production is farm scale. Especially in Türkiye, the limited capital accumulation in rural areas necessitates the efficient use of existing resources. In this context, farm scale plays a decisive role in sheep farming, affecting both production costs and productivity (Günlü and Mat, 2021). Data on the scale structure of small ruminant livestock farms in Türkiye are presented in Table 1.

Table 1. Distribution of farms and livestock by size of farms with small ruminant animals (2016)

Farm size based on the number of small ruminants (head)	Farms with small ruminants (%)	Number of small ruminants (%)
1 – 4	10.96	0.29
5 – 9	10.28	0.74
10 – 19	14.04	2.02
20 – 49	17.70	6.09
50 – 149	28.48	27.01
150 – 299	12.33	27.60
300+	6.21	36.25
Total	100.00	100.00

Source: TURKSTAT, 2026

As shown in Table 1, 52.9% of small ruminant farms in Türkiye have fewer than 49 animals, 28.5% have 50-149 animals, 12.3% have 150-299 animals, and only 6.2% have 300 animals or

more. This demonstrates that small-scale farms play a significant role in small ruminant production in Türkiye.

Sheep population varies across geographical regions due to environmental factors. Table 2 presents the sheep population in the ten provinces with the highest number of sheep in Türkiye.

Table 2. Number of sheep by provinces in Türkiye (1,000 head)

Province s	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Van	2,456	2,418	2,523	2,472	2,505	2,912	3,081	3,106	2,994	3,040
Konya	1,862	1,827	1,895	2,001	2,191	2,557	2,769	2,771	2,793	2,931
Şanlıurfa	1,519	1,561	1,732	1,891	1,970	2,319	2,153	2,094	2,032	2,365
Diyarbakır	886	952	1,455	1,468	1,527	1,674	1,772	1,712	1,713	1,895
Ankara	879	984	1,233	1,319	1,455	1,718	1,940	1,680	1,620	1,811
Ağrı	1,288	1,253	1,411	1,245	1,264	1,318	1,361	1,254	1,310	1,509
Balıkesir	793	797	984	1,006	1,112	1,300	1,495	1,272	1,183	1,222
Eskişehir	693	651	644	706	927	1,071	1,153	1,154	995	1,089
Iğdır	804	824	930	982	1,100	1,225	1,339	1,259	826	997
Sivas	392	391	488	495	544	650	837	917	965	938
Other provinces	19,934	19,324	20,382	21,608	22,680	25,385	27,278	27,468	25,630	26,283
Türkiye	31,508	30,984	33,678	35.195	37,276	42,127	45,178	44,688	42,060	44,080

Source: TURKSTAT, 2026

Table 2 shows that the total sheep population in Türkiye increased from 31.5 million in 2015 to 45.2 million in 2021, and then fluctuated in subsequent years, reaching 44.1 million in 2024. The sheep population in Türkiye increased by approximately 40% over the ten-year period between 2015 and 2024.

When evaluated on a provincial basis, it is noteworthy that sheep farming activities are concentrated particularly in the Eastern and Southeastern Anatolia regions. Van, Şanlıurfa, and Diyarbakır provinces stand out with high sheep populations, and significant increases have been observed in these provinces over the years. In contrast, some provinces experience seasonal fluctuations.

In 2024, of the total sheep population of 44.080 million head in Türkiye, 90.5% (39.871 million head) consisted of indigenous sheep, while 9.5% (4.208 million head) were Merino sheep (TURKSTAT, 2026).

Studies conducted in different regions of Türkiye indicate that there are significant breed differences in sheep production depending on regional conditions. In the Mediterranean Region, there is a high demand for meat-type improved breeds. In the Marmara Region, Kızılcık and Merino breeds are the most commonly raised, whereas Akkaraman is among the most widespread breeds in the Central Anatolia and Southeastern Anatolia Regions. In the Black Sea Region, Karayaka, Akkaraman, and Merino breeds are prominent, and their tail structures appear to be adapted to the prevailing climatic conditions. The Aegean Region stands out with its high genotype diversity, with Pırlak/Pırıt, Kızılcık, and Sakız being among the most commonly raised breeds. Thin-tailed breeds are concentrated mainly in the western parts of the country, while fat-tailed breeds are predominantly found in the eastern provinces (Kandemir and Taşkın, 2022a; Kandemir and Taşkın, 2022b; Kandemir and Taşkın, 2022c; Kandemir and Taşkın, 2022d; Taşkın and Kandemir, 2022a; Taşkın and Kandemir, 2022b).

In Türkiye, sheep constitute a significant share of the livestock population due to the suitability of environmental and economic conditions for sheep farming and the utilization of the products obtained. However, since sheep farming is not carried out in specific areas, the quality and level of production remain low. Sheep are generally animals from which meat, milk, hides, and manure are utilized (Yıldırım, 1992).

Table 3 shows the products obtained from sheep in Türkiye and their production quantities by year. Table shows that sheep meat production generally showed an upward trend during the 2015-2024 period. In contrast, sheep milk production showed an upward trend until 2019, after which it followed a fluctuating course and decreased. Wool production, on the other hand, showed an increase throughout the period and exhibited a more stable structure compared to other products.

Table 3. Production quantities of sheep products in Türkiye by year (tons)

Years	Meat	Milk	Wool
2015	249,863	1,177,228	6,839
2016	266,675	1,160,413	6,645
2017	262,825	1,344,779	7,404

2018	291,179	1,446,271	8,226
2019	316,170	1,521,455	9,453
2020	345,639	1,101,065	10,926
2021	385,933	1,143,762	12,283
2022	489,354	1,067,342	12,204
2023	569,066	933,576	11,861
2024	509,539	906,945	12,966

Source: TURKSTAT, 2026

In sheep farming, one of the key determinants of profitable and efficient production is the availability and quality of pastures and meadows. Pastures play a critical role in reducing production costs, lowering feed expenses, and ensuring the sustainability of small ruminant farming.

When Figure 1 is examined, it is evident that pasture and meadow areas in Türkiye have not shown a significant increasing trend over the years and have instead remained relatively stagnant for a long period. Particularly after the decline observed in the early 1990s, these areas stabilized at a certain level.

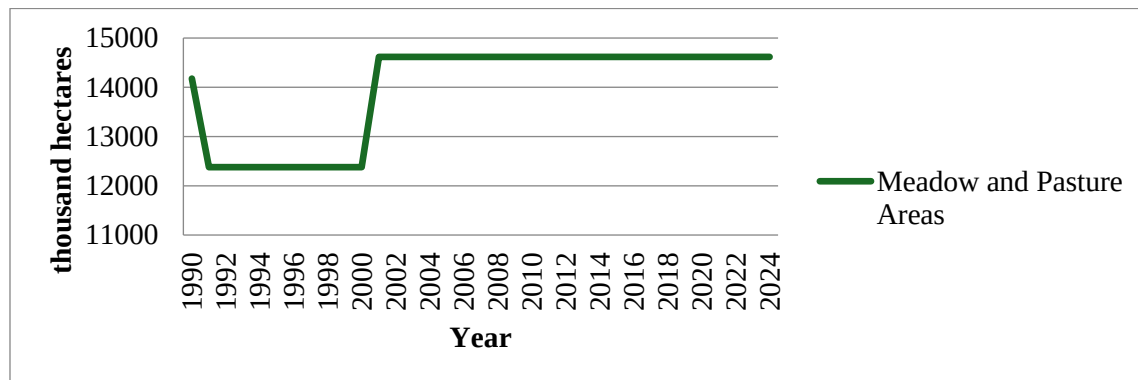


Figure 1. Change in Meadow and Pasture Areas by Years

Source: TURKSTAT, 2026

The Position of Sheep Farming within the Sector

Products obtained from sheep farming activities (meat, milk, skin, and wool) directly provide inputs to agro-industries. They play an important role in determining producer income and shaping the economic structure of the livestock sector. The production values of these products and their shares in total animal production are among the main indicators used to evaluate the economic contribution of sheep farming.

Table 4. Value of animal products in Türkiye and the share of sheep

	2019	2020	Change (%)
Total value of milk production (million TL)	43,654	55,278	26.63
Sheep milk production value (million TL)	4,775	5,921	23.99
Sheep milk share (%)	10.94	10.71	
Total value of red meat production (million TL)	38,140	40,716	6.75
Value of sheep meat production (million TL)	3,914	3,864	-1.29
Lamb meat share (%)	10.26	9.49	
Total skin production value (million TL)	241	210	-13.15
Value of sheepskin production (million TL)	32	29	-10.02
Sheepskin share (%)	13.27	13.75	
Wool production value (million TL)	125	120	-4.28
Total value of animal product production (million TL)	93,918	108,598	15.63
Total value of sheep product production	8,846	9,932	12.28
Sheep products share (%)	9.42	9.15	
Total value of livestock production (million TL)	-	195,239	18.10
Live sheep production value (million TL)	-	49,665	33.34
Live sheep share (%)	-	25.44	

Source: TURKSTAT, 2026

Table 4 shows that the total value of animal product production in Türkiye increased overall during the 2019-2020 period. The total value of animal product production increased by 15.63%, reaching 108.5 billion TL, while the value of sheep product production increased by 12.28%. Despite this increase, the share of sheep products in total animal products decreased from 9.42% to 9.15%.

When examined on a product basis, a significant increase (23.99%) was observed in the value of sheep milk production, while there was a slight decrease (-1.29%) in the value of sheep meat production. Despite a decline in the production values of leather and wool, it is noteworthy that the share of sheepskin in the total has increased to 13.75%. Furthermore, the fact that the share of live sheep production in the total livestock production value is at a high level of 25.44% reveals that sheep farming is economically important not only in terms of product but also in terms of livestock numbers.

Market structure and trade in sheep farming

An examination of the market structure in sheep farming in Türkiye reveals that production is largely carried out by small-scale family businesses, and producers have limited bargaining power in marketing channels. Despite a significant portion of producers selling their milk to dairies, they complain of insufficient demand for both milk and sheep/lamb sales, indicating the absence of a stable price and demand structure in the market. This situation leads to income uncertainty for producers and prevents businesses from strengthening their capital structure despite the support provided (Ayvazoğlu Demir et al., 2015). On the other hand, findings regarding the sheep meat marketing structure reveal a significant difference between producer and consumer prices. Indeed, it has been determined that the producer's share of the consumer price varies between 79–84%, while approximately 16–21% goes to intermediaries (Keskin et al., 2010). This structure shows that intermediaries play a significant role in the marketing chain and that producer incomes are only minimally affected by market conditions.

When Table 5 is examined, it is observed that the income structure in sheep farming differs according to products. Overall, the rapid increase in producer prices indicates a nominal increase in sectoral income; however, the real impact of this increase against rising costs should also be evaluated.

Table 5. Producer prices of sheep products in Türkiye by year (TL/kg)

Years	Sheep meat	Sheep milk	Sheepskin	Wool
2015	20.72	2.01	6.68	2.23
2016	24,24	2.24	5.95	2.18
2017	27.82	2.41	5.56	2.37
2018	31.85	2.77	5.74	2.51
2019	35.78	3.35	6.33	2.54
2020	40.30	4.03	6.61	2.43
2021	49.10	5.58	8.26	2.63
2022	86.62	9.42	13.50	4.33
2023	-	17.90	21.19	9.83
2024	-	27.12	26.20	14.49

Source: TURKSTAT, 2026

Türkiye's international livestock trade shows a significant trend when examined in terms of both live animals and animal products. Fluctuations in livestock numbers, the balance between domestic production and shortages, consumption trends, and market prices are decisive in shaping foreign trade policies (Arısoy and Erdem, 2025).

When Table 6 is examined, it is evident that Türkiye's live sheep foreign trade has displayed a fluctuating structure over the years. In 2018, a foreign trade deficit occurred due to high imports, whereas between 2019 and 2022, foreign trade surpluses were achieved with increasing exports. The highest foreign trade surplus was recorded in 2022. However, starting from 2023, the decline in exports weakened the foreign trade balance and deficits re-emerged in some years.

Table 6. Türkiye's live sheep foreign trade by year

Years	Import		Export		Balance (\$1,000)
	Quantity (head)	Value (\$1,000)	Quantity (head)	Value (\$1,000)	
2015	2,387	522	4,500	861	+339
2016	4,689	715	-	-	-
2017	280,669	37,313	-	-	-
2018	425,507	62,539	16,130	2,683	-59,856

2019	137,495	13,525	244,326	28,601	+15,076
2020	122,678	14,003	235,544	28,892	+14,889
2021	55,997	9,602	402,360	37,074	+27,472
2022	24,236	4,216	863,979	64,117	+59,901
2023	67,349	5,208	55,476	4,587	-621
2024	88,925	5,551	49,664	3,563	-1,988

Source: FAOSTAT, 2026; SETBIR, 2026

Türkiye's live sheep trade is largely concentrated with Middle Eastern countries, particularly Azerbaijan, Iraq, and Kuwait (SETBIR, 2026). This demonstrates that foreign trade depends heavily on specific markets and that changes in regional demand conditions directly affect the trade balance. Overall, it can be stated that there is no stable structure in live sheep foreign trade and that the sector is sensitive to external demand and domestic market dynamics.

CONCLUSION

In this study, the findings indicate that sheep farming has an important position within Turkish livestock production, although structural problems in the sector continue to exist. During the 2015-2024 period, sheep population generally increased in Türkiye, and production was concentrated particularly in Eastern and Southeastern Anatolia. During the same period, sheep meat and fleece production showed increasing trends, whereas sheep milk production displayed a fluctuating structure in recent years. The slight decline in sheep meat production value suggests that cattle breeding has a dominant effect on the red meat market. The fact that sheep products account for approximately 9% of total animal production value indicates that despite growth in production quantity, the economic weight of the sector remains limited. However, the high share of live sheep production value within total live animal production value reveals the importance of the sector in terms of capital value.

An examination of farm structures shows that the sector largely consists of small-scale family farms. The low number of animals on many farms prevents sufficient benefit from economies of scale and leads to productivity problems in production. In addition, producers have limited bargaining power within the marketing chain, intermediaries play an active role in the market structure, and significant differences exist between producer and consumer prices. This structure limits producer income and complicates the economic sustainability of the sector (Keskin et al., 2010; Demir et al., 2015; Demirhan, 2019).

Pasture and meadow areas are of great importance for the sustainability of sheep farming activities. However, the lack of a significant increase in pasture and meadow areas in Türkiye over many years has increased producers' dependence on external inputs and feed costs. This situation negatively affects the profitability of the sector by increasing production costs.

A fluctuating structure is also evident in live sheep foreign trade. Particularly during the 2019–2022 period, foreign trade surpluses were achieved due to increasing exports, but in subsequent years the foreign trade balance weakened with declining exports. The fact that Türkiye's live sheep trade is largely directed toward Middle Eastern countries indicates that the sector depends heavily on specific markets.

Overall, although the sheep farming sector in Türkiye possesses significant production and livestock potential, structural problems such as insufficient pasture resources, small-scale farm structures, high production costs, marketing problems, and lack of organization limit sectoral development. Therefore, to improve the economic efficiency of the sector, it is important to protect and improve pasture areas, strengthen producer organizations, expand cooperatives, and develop industrial and marketing infrastructures aimed at transforming sheep products into value-added products. In addition, establishing a more stable market structure in favor of producers and diversifying export markets are considered necessary for the sustainability of the sector.

REFERENCES

- Altınçekiç, Ş. Ö., (2014). Evaluation of welfare criteria and of structural characteristics of sheep enterprises in bursa province, PhD Thesis, Uludağ University Institute of Science, 149 p.
- Arısoy, H., Erdem, M., (2026). Livestock Foreign Trade in Türkiye, Turkish Academy of Political Social Strategic Research Foundation, Ankara, 159 p.
- Ayalp, S., (2020). A research on the organizational satisfaction and expectations of the members of the sheep and goat breeders' association of Şanlıurfa, MSc Thesis, Harran University Institute of Science, 90 p.
- Ayvazoğlu Demir, P., Adıgüzel Işık, S., Aydın, E., Yazıcı, K., Ayvazoğlu, C., (2015). Socio-economic importance of sheep breeding farms in Ardahan province, Van Veterinary Journal, 26(3), 141-146.
- Çiçek, A., Ayyıldız, M., Erdal, G., Erdal, H., (2022). Importance and economic analysis of sheep breeding in Türkiye, *MAS journal of Applied Sciences*, 7(Special Issue): 1303-1323.

- Demirhan, S.A., (2019). Sheep farming business in Uşak city of Türkiye: Economic structure, problems and solutions, *Saudi Journal of Biological Sciences*. 26(2), 352-356.
- Demir, P., Işık, S.A., Aydın, E., Yazıcı, K., Ayvazoğlu, C., (2015). *Socio-economic importance of sheep breeding farms in Ardahan province*. 26 (3), 141-146.
- FAOSTAT, (2026). Agricultural Statistics, <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL> (Accessed: May 7, 2026)
- Günlü, A., Mat, B., (2021). The place and importance of sheep and goat breeding in the Turkish economy. *Sheep and Goat Health and Breeding in Preventing Lamb and Kid Losses* (Edit: Erdem, H., Çiftçi, E., Işık, K., Yorgancılar, M.Ü.), Akademisyen Publisher, Ankara, pp. 3-14.
- Gürer, B., Ulutaş, Z., (2021). Analysis of factors affecting the farms' probability continuing sheep farming in in the TR71 region, *Anadolu Journal of Agricultural Sciences*, 36: 63-72.
- Kandemir, Ç., Taşkın, T., (2022a). Current State and Future of Sheep Breeds in Turkey: Blacksea Region. *Journal of the Institute of Science, Centennial University*. 27(1), 101-112.
- Kandemir, Ç., Taşkın, T., (2022b). Current Situation and Future of Sheep Breeds: Mediterranean Region. *Turkish Journal of Agricultural Research*. 9(1): 97-106.
- Kandemir, Ç., Taşkın, T., (2022c). Current Situation of Native and Cultured Sheep Breeds in the Marmara Region. *The Voive of Nature*. 5 (9): 17-33.
- Kandemir, Ç., Taşkın, T., (2022d). Status of Sheep Breeds by Regions in Turkey: Central Anatolia Region. *IJAAES International Journal of Anatolia Agricultural Engineering Sciences*. 4(4):97-105.
- Keskin, A., Dademir, V., Demir, N., (2010). Economic analysis of sheep breeding according to the NUTS Level 1 region in Türkiye. *Scientific Research and Essays*, 5 (7): 641-645.
- Keskinkılıç, K., (2019). Sustainability of Sheep Farming Activities, Izmir Commodity Exchange Publications, Izmir, 171 p.
- Koca, A., (2014). Structural analysis of enterprises having sheep raising activity in Karaman province, MSc Thesis, Selçuk University Institute of Science, 85 p.
- Morris, S.T., (2009). Economics of sheep production, *Small Ruminant Research*, 86: 59-62.
- Sert, H., (2019). Analysis of animal welfare economy in dairy cattle and evaluation in terms of agricultural policies: Izmir province example, MSc thesis, Ege University Institute of Science, 152 p.
- SETBIR, (2026). Foreign Trade Statistics. <https://www.setbir.org.tr/dis-ticaret/> (Accessed: May 4, 2026)

- Taşkın, T., Kandemir, Ç. (2022a). Current status and future of sheep breeds in Turkey: Aegean Region. *Journal of Agriculture Faculty of Ege University* , 59 (3): 485-498. <https://doi.org/10.20289/zfdergi.1058959>
- Taşkın, T., Kandemir, Ç., (2022b). State and Future of Sheep Breeds in Turkey: Southeast Anatolia Region. *Journal of Kadirli Faculty of Applied Sciences*. 2(1): 93-105.
- TURKSTAT, (2026). Livestock Statistics. <https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/statistical-themes> (Accessed: April 27, 2026)
- Ünal, G., (2021). Evaluation of supports given for small ruminant livestock in terms of breeder satisfaction: national sheep and goat breeding project, the case of Akkaraman sheep breeding sub-project in Çankırı province, MSc Thesis, Ankara University Institute of Science, 81 p.
- Yıldırım, I., (1992). A general evaluation of the economy of sheep farming in Turkish agriculture, *Journal of the Faculty of Agriculture, Yüziüncü Yıl University*, 2(2), 223-237.

TÜRKİYE’DE SON 10 YILDA ASPİR ÜRETİM VE DIŞ TİCARETİNDE ORTAYA ÇIKAN GELİŞMELER

Zir. Müh. İsmihan İmiş

Ege Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Ekonomisi Ana Bilim Dalı
ismihanimis6@gmail.com – ORCID ID: 0000-0003-3842-8056

Prof. Dr. Nevin Demirbaş

Ege Üniversitesi/ Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü
nevin.demirbas@ege.edu.tr ORCID-ID: 0000-0002-0541-1437

ÖZET

Stratejik tarımsal ürün gruplarından biri olan yağlı tohumlu bitkiler; bitkisel yağ ihtiyacının karşılanması ve sanayiye ham madde sağlanması açısından önemli bir konumdadır. Aspir; kurak koşullara uyum sağlayabilmesi, düşük girdi ihtiyacı ve farklı kullanım alanlarına (gıda, yem, enerji, kimya vb.) sahip olması nedeniyle, Türkiye’nin yağlı tohum açığının azaltılmasında alternatif yağ bitkileri arasında önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu çalışmada, Türkiye’de son on yıllık dönemde (2015-2024), aspir üretim ve dış ticaretinde meydana gelen gelişmeler incelenmiş olup; çalışmada aspir ekim alanı, üretim miktarı, verim ve dış ticaret göstergeleri resmi istatistik kaynaklarından elde edilen ikincil veriler kullanılarak analiz edilmiştir. Buna ek olarak, Türkiye aspir üretiminde kendine yeterlilik düzeyi yine aynı dönem için, FAO tarafından kullanılan yöntem esas alınarak hesaplanmıştır.

Elde edilen bulgular, Türkiye’de aspir üretiminin, ele alınan dönemde dalgalı bir seyir izlediğini ve üretimde bazı yıllarda ortaya çıkan artışların sürdürülebilir olmadığını göstermektedir. Türkiye, dünya ortalamasının üzerinde bir verim düzeyine sahip olmasına karşın mevcut üretim potansiyelini yeterince değerlendirememektedir. Nitekim, dış ticaret göstergeleri, ithalatın ihracata kıyasla daha baskın olduğunu, özellikle Rusya ve Kazakistan’a olan ithalat bağımlılığının yüksek seviyede seyrettiğini ortaya koymaktadır. Türkiye’nin aspir üretiminde dışa bağımlılığı sürmekte ve kendine yeterlilik düzeyi incelenen dönemde hiçbir yılda %100’e ulaşmamaktadır.

Aspir, Türkiye’yi de etkileyen küresel iklim değişikliği koşullarında, kuraklığa dayanıklı olması itibarıyla, bitkisel yağ açığına önemli katkılar sağlayabilecek üretim potansiyeli yüksek bir bitkidir. Bu açıdan, Türkiye’de aspir üretim ve ticaretinin geliştirilmesi için; üreticileri aspir üretimine teşvik edecek etkin destekleme politikalarının güçlendirilmesi, yüksek verim potansiyelinin daha istikrarlı bir yapıya kavuşturulması ve dış ticaret yapısının daha dengeli ve rekabetçi hale getirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler:Aspir üretimi, aspir dış ticareti, yağlı tohumlu bitkiler, kendine yeterlilik.

1.GİRİŞ

Tarım sektörü, gıda güvencesinin sağlanması, sanayiye hammadde temin edilmesi ve ekonomik kalkınmaya katkı sunması bakımından ülkelerin stratejik sektörlerinden biri olup; yağlı tohumlu bitkiler bitkisel yağ üretiminin yanı sıra yem, biyoyakıt ve sanayiye hammadde sağlamaları nedeniyle tarımsal üretimde önemli bir yere sahiptir. Aspir bitkisi ise kurak ve yarı kurak koşullara uyum sağlayabilmesi, düşük girdi gereksinimi ve yüksek yağ içeriği sayesinde hem insan beslenmesinde hem de hayvan yemi ve biyodizel üretiminde değerlendirilebilmesiyle ekonomik açıdan dikkat çeken alternatif yağ bitkilerinden biridir (Akınerdem, 2011; Babaoğlu, 2017; Onat vd., 2017; Baydar ve Erbaş, 2020; Saygı, 2025). Küresel ölçekte nüfus artışı, değişen tüketim alışkanlıkları, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesine yönelik politikalar ve enerji güvenliği ile sürdürülebilir üretim anlayışının önem kazanması, yağlı tohumlu bitkilere olan talebi artırırken, Türkiye'nin bitkisel yağ üretiminin iç talebi karşılayamaması önemli miktarda ithalat yapılmasına ve dış ticaret açığı üzerinde baskı oluşmasına neden olmaktadır (Kıllı ve Beycioğlu, 2019; Binboğa ve Demirbaş, 2023; Kadakoğlu vd., 2023). Bu bağlamda aspir bitkisi, özellikle kurak ve sınırlı su kaynaklarına sahip bölgelerde yetişebilmesi nedeniyle Türkiye'nin yağlı tohum açığının azaltılmasında değerlendirilebilecek önemli bir alternatif ürün olarak öne çıkmaktadır (Babaoğlu, 2004; Taşlıgil ve Şahin, 2016). İklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerindeki etkilerinin giderek belirginleşmesi, kuraklığa dayanıklı türlerin önemini artırırken, aspir bitkisinin sürdürülebilir üretim açısından stratejik değerini daha da güçlendirmektedir. Nitekim, aspir üretimine yönelik destekleme politikaları ve alternatif yağ bitkilerine artan ilgi, son yıllarda Türkiye'de üretim alanlarının ve üretim miktarının gelişmesine katkı sağlamıştır (Bayramın ve Kaya, 2009; T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, 2011). Bununla birlikte üretim ve dış ticaret performansındaki değişimlerin bütüncül biçimde ele alındığı çalışmaların sınırlı olması, konunun güncel durumunu araştırma gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda aspir üretim ve dış ticaret göstergelerinin birlikte değerlendirilmesi, sektörün mevcut durumunun daha kapsamlı anlaşılmasına ve politika oluşturma ve geliştirme süreçlerine katkı sağlayabilmesi açısından önemlidir.

Bu çalışma, Türkiye'de son on yıllık dönemde (2015–2024) aspir üretimi ve dış ticaretinde meydana gelen gelişmeleri bütüncül bir yaklaşımla incelemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda ekim alanı, üretim miktarı ve verimlilik göstergelerindeki değişimler ile ithalat ve ihracat eğilimleri birlikte değerlendirilerek aspirin tarımsal üretim içindeki konumu ve uluslararası piyasalardaki yeri ortaya konulmaktadır. Araştırma ürün kapsamı bakımından yalnızca aspir bitkisi ile sınırlandırılmış; üretim teknikleri ve agronomik özellikler kapsam dışında bırakılmıştır. Zaman ve coğrafi kapsam açısından çalışma, 2015–2024 yılları arasında Türkiye geneline ilişkin verileri içermektedir. Ayrıca destekleme fiyatları ve sahaya yönelik değerlendirmeler kapsamında Kayseri'de faaliyet gösteren ilgili kooperatiftan elde edilen bilgiler tamamlayıcı veri olarak kullanılmıştır. Çalışmada ikincil veri kaynaklarına dayalı olarak üretim ve ticaret göstergeleri analiz edilmiş; veriler tablo ve grafiklerle sunulmuş ve kendine yeterlilik düzeyi FAO yaklaşımı esas alınarak $(\text{Üretim} \times 100) / (\text{Üretim} + \text{İthalat} -$

İhracat) formülüyle hesaplanmıştır (Akouegnonhou ve Demirbaş, 2019; Akkurt ve Demirbaş, 2021).

2. TÜRKİYE’DE ASPİR ÜRETİMİNDE ORTAYA ÇIKAN GELİŞMELER

Bu başlık altında; Dünya aspir üretiminde Türkiye’nin yeri, Türkiye’de aspir üretimi, alanı, verimi ve Türkiye’de aspir üretimine yönelik destekleme uygulamaları incelenmiştir.

2.1. Dünya Aspir Üretiminde Türkiye’nin Yeri

Aspir, küresel ölçekte özellikle kurak ve yarı kurak iklim kuşaklarında yetiştirilen önemli yağlı tohumlu bitkiler arasında yer almaktadır. Son yıllarda artan bitkisel yağ talebi, iklim değişikliği koşulları ve alternatif yağ bitkilerine yönelik politika arayışları, aspir üretiminin stratejik önemini artırmıştır. Literatürde aspir; düşük su ihtiyacı, farklı agro-ekolojik koşullara uyum kabiliyeti ve çok yönlü kullanım alanları nedeniyle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde üretim desenine dahil edilen alternatif bir ürün olarak değerlendirilmektedir (Taşlıgil ve Şahin, 2016; Kılılı ve Beycioğlu, 2019; Yılmaz vd., 2021). Bu bağlamda değerlendirildiğinde, dünya aspir üretimi, belirli ülkelerde yoğunlaşan ve dönemsel dalgalanmalar gösteren bir yapı sergilemektedir.

Nitekim, Çizelge 1 incelendiğinde, 2015–2024 döneminde dünya aspir üretiminin dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir. 2015 yılında 858.446 ton olan üretim miktarı, 2016 yılında artış göstererek 981.205 tona yükselmiş, ancak 2017 yılından itibaren yeniden azalma eğilimine girerek, 2018–2021 yılları arasında 642 bin ile 661 bin ton aralığında değişim göstermiştir. 2022 yılında 1.036.416 ton ile dönem içerisindeki en yüksek seviyeye ulaşılması, üretimde geçici bir genişlemeye işaret ederken; 2023 ve 2024 yıllarında sırasıyla 853.632 ton ve 762.620 ton seviyelerine gerilemesi ise bu artışın sürdürülebilir olmadığını ortaya koymaktadır. Aynı çizelgeye ait indeks değerleri incelendiğinde, özellikle 2022 yılında zincirleme indeksin 156,63 seviyesine yükselmesi, üretimde ani ve güçlü bir artış yaşandığını göstermektedir. Ancak sonraki yıllarda indeks değerlerinin tekrar gerilemesi, küresel aspir üretiminin istikrarlı bir büyüme eğiliminden ziyade konjonktürel değişimlere bağlı olarak şekillendiğini doğrulamaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1: Dünya Aspir Üretimi (Ton)

Yıllar	Üretim Miktarı	Basit İndeks	Zincirleme İndeks
2015	858.446,63	100,00	-
2016	981.205,22	114,30	114,30
2017	769.152,57	89,59	78,38
2018	642.814,53	74,88	83,57
2019	620.940,01	72,33	96,59
2020	689.958,77	80,37	111,11
2021	661.676,53	77,07	95,90
2022	1.036.416,36	120,73	156,63
2023	853.632,13	99,43	82,36
2024	762.620,52	88,83	89,33

Kaynak: FAOSTAT, Crop and Livestock Products, 2026. (Erişim Tarihi: 04.06.2026)

Dünya aspir üretimine ilişkin ülke bazındaki ayrıntılı veriler, üretim yapısının daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Çizelge 2’de yer alan son üç yıllık ortalama veriler incelendiğinde, dünya aspir üretiminin belirli ülkelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Ekim alanı ve üretim miktarı bakımından öne çıkan ülkelerin başında Kazakistan gelmektedir. Kazakistan, 4.47 milyon dekar ekim alanı ve 306 bin tonun üzerindeki üretim miktarıyla dünya aspir üretiminde önemli bir konumdadır. Benzer şekilde Rusya da 2.81 milyon dekar ekim alanı ve 205 bin tonluk üretimiyle dünya aspir üretiminde önemli paya sahip ülkeler arasında yer almaktadır.

Üretim miktarı açısından, Kazakistan ve Rusya’nın ardından Meksika, Hindistan ve ABD öne çıkmaktadır. Meksika yaklaşık 71 bin tonluk üretimiyle dikkat çekerken, Hindistan 67 bin ton, ABD ise 63 bin tonluk üretim gerçekleştirmiştir. Buna karşın Çin, ekim alanı bakımından bu ülkelere göre daha düşük bir alana sahip olmasına rağmen, yaklaşık 34 bin tonluk üretimiyle yüksek verimlilik düzeyinin üretim miktarına olumlu yansıdığını göstermektedir.

Verim değerleri incelendiğinde, ülkeler arasında önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. En yüksek verim değeri 1793.7 kg/daa ile Meksika’da gerçekleşmiştir. Meksika’yı Tacikistan (1630.3 kg/daa), Çin (1466.4 kg/daa), İran (1323.1 kg/daa) ve ABD (1287.3 kg/daa) takip etmektedir. Buna karşın Ukrayna (515.8 kg/daa), Tanzanya (555.1 kg/daa), Özbekistan (580.1 kg/daa) ve Avustralya (581.4 kg/daa) daha düşük verim düzeylerine sahiptir. Bu durum, aspir üretiminde yalnızca ekim alanının değil, uygulanan üretim teknikleri, iklim koşulları ve kullanılan çeşitlerin de üretim performansı üzerinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Türkiye ise 279 bin dekar ekim alanı, 32.7 bin ton üretim miktarı ve 1166.2 kg/daa verim değeriyle dünya ortalamasının üzerinde bir verim performansı sergilemektedir. Ekim alanı bakımından bazı üretici ülkelere göre daha sınırlı bir alana sahip olmasına rağmen, elde ettiği verim düzeyi sayesinde üretimde önemli ülkeler arasında yer almaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2: Son Üç Yıl Ortalaması İtibariyle Ülkelere Göre Dünya Aspir Üretim Göstergeleri (2022/2024)

Ülkeler	Alan (daa)	Üretim Miktarı (ton)	Verim (kg/daa)
Kazakistan	4.465.730	306.115,10	683,40
Rusya	2.805.550	205.499,90	730,30
Hindistan	844.013	67.162,10	790,30
ABD	495.767	63.476,70	1.287,30
Meksika	401.793	71.177,10	1793,70
Türkiye	279.247	32.666,70	1.166,20
Tanzanya	258.757	14.362,50	555,10
Çin	231.577	33.958,90	1.466,40
Kırgızistan	99.297	8.974,00	899,20
Arjantin	89.293	5.792,70	634,40
Özbekistan	87.767	5.060,70	580,10
Etiyopya	72.740	8.753,00	1.203,40
Avustralya	62.287	3.620,40	581,40
Tacikistan	39.383	6.424,60	1.630,30
İran	36.563	4.837,90	1.323,10
Ukrayna	2.117	109,30	515,80
Diğer	30	2,30	1.006,20

Kaynak: FAOSTAT, Crop and Livestock Products, 2026. (Erişim Tarihi: 04.06.2026)

Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde, dünya aspir üretiminde geniş ekim alanlarına sahip ülkelerin toplam üretim miktarında belirleyici bir rol oynamasına rağmen, üretim performansının sadece ekim alanının büyüklüğüne bağlı olmadığı da görülmektedir. Nitekim, Meksika, Çin ve İran gibi ülkeler yüksek verim değerleri sayesinde daha sınırlı alanlarda önemli üretim düzeylerine ulaşabilmişlerdir. Türkiye ise 279 bin dekar ekim alanı ve 32.7 bin tonluk üretim miktarıyla dünya aspir üretiminde orta sıralarda yer almakla birlikte, 1166.2 kg/daa'lık verim değeriyle birçok üretici ülkenin üzerinde bir performans sergilemektedir. Söz konusu durum, Türkiye'nin aspir üretiminde verimlilik açısından rekabetçi bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, üretim alanı ve toplam üretim miktarı dikkate alındığında mevcut potansiyelin tam olarak değerlendirilemediği de ifade edilebilir. Dolayısıyla uygun üretim politikaları ve ekim alanlarının artırılmasına yönelik uygulamalarla Türkiye'nin dünya aspir üretimindeki payını daha da yükseltebilme potansiyeline sahip olduğu değerlendirilmektedir.

2.2. Türkiye Aspir Üretimi, Alanı ve Verimindeki Gelişmeler

Türkiye'de aspir üretimi, son yıllarda hem ekim alanı hem de verimlilik göstergeleri açısından dalgalı bir seyir izlemektedir. Literatürde aspirin özellikle kuraklığa dayanıklı yapısı, düşük girdi ihtiyacı ve alternatif yağ bitkisi olarak değerlendirilme potansiyeli nedeniyle Türkiye tarımında stratejik ürünler arasında yer almaya başladığı ifade edilmektedir (Taşlıgil ve Şahin, 2016; Yılmaz vd., 2021). Bununla birlikte, üretim desenine tam anlamıyla istikrarlı biçimde entegre olamadığı, üretim düzeyinin dönemsel politika uygulamaları ve piyasa koşullarına bağlı

olarak değişkenlik gösterdiği belirtilmektedir (Bayramin ve Kaya, 2009; Kılı ve Beycioğlu, 2019). Literatürde aspir bitkisinin, yağlı tohum açığının azaltılmasında potansiyel bir alternatif olarak görüldüğü, kurak alanların değerlendirilmesine katkı sunduğu ve farklı kullanım alanları (bitkisel yağ, yem ve sanayi hammaddesi) ile ekonomik çeşitlilik sağladığı ifade edilmektedir (Babaoğlu, 2013; Taşlıgil ve Şahin, 2016; Yılmaz vd., 2021). Bununla birlikte Türkiye’de aspir üretiminin, tarım politikaları ve destekleme mekanizmalarına bağlı olarak dönemsel değişimler gösterdiği ve henüz istikrarlı bir büyüme eğilimine ulaşamadığı da vurgulanmaktadır (Bayramin ve Kaya, 2009; Kılı ve Beycioğlu, 2019). Türkiye’de aspir üretimi belirli bölgelerde yoğunlaşmakta olup özellikle İç Anadolu bölgesinde öne çıkmaktadır. Kayseri, Isparta, Konya, Nevşehir, Ankara gibi iller, iklim ve toprak koşullarının uygunluğu nedeniyle aspir tarımının daha yaygın olduğu alanlar arasında yer almaktadır. Bu durum, bitkinin kuraklığa dayanıklı yapısı ile uyumlu olarak yarı kurak tarım alanlarında alternatif bir üretim deseni oluşturduğunu göstermektedir.

Literatürden elde edilen bu bilgiler, 2015–2024 dönemi üretim verileri ile daha yakından incelendiğinde, Türkiye’de aspir üretiminin ekim alanı, üretim miktarı ve verim göstergeleri bakımından dalgalı bir seyir izlediğini göstermektedir. 2015 yılında 431.071 dekar olan ekim alanı ve 70.000 ton olan üretim miktarı, takip eden yıllarda önemli ölçüde azalmış ve 2021 yılında sırasıyla 145.882 dekar ve 16.200 ton seviyesine kadar gerilemiştir. Bu dönemde üretimde yaşanan gerilemede ekim alanlarının daralmasının yanı sıra verim düzeylerindeki azalışın da etkili olduğu söylenebilir. Nitekim verim değeri 2017 yılında 183 kg/daa ile dönem içerisindeki en yüksek seviyesine ulaşırken, 2021 yılında 111 kg/daa ile en düşük seviyesine gerilemiştir. 2022 yılı itibarıyla aspir üretiminde yeniden bir toparlanma süreci başlamıştır. Ekim alanı 262.375 dekara, üretim miktarı ise 30.000 tona yükselmiş; 2023 yılında alan 321.298 dekara, üretim miktarı ise 39.000 tona ulaşmıştır. Ancak bu artışın kalıcı olmadığı, 2024 yılında ekim alanının 254.175 dekara ve üretimin 29.000 tona gerilediği görülmektedir. Bu durum, aspir üretiminde yapısal bir istikrarın henüz sağlanamadığını ve üretim artışlarının büyük ölçüde dönemsel koşullara bağlı olduğu literatür bilgisini teyit etmektedir (Çizelge 3).

Çizelge 3: Türkiye Aspir Ekim Alanı, Üretim Miktarı ve Verimi

Yıllar	Ekilen Alan (daa)	Üretim Miktarı (Ton)	Verim (kg/daa)
2015	431.071	70.000	162
2016	395.710	58.000	147
2017	273.762	50.000	183
2018	246.932	35.000	142
2019	158.601	21.883	138
2020	151.150	21.325	141
2021	145.882	16.200	111
2022	262.375	30.000	114
2023	321.298	39.000	121
2024	254.175	29.000	114

Kaynak: TÜİK, Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2026. (Erişim Tarihi: 20.04.2026)

2.3. Türkiye’de Aspir Üretimine Yönelik Destekleme Uygulamaları

Türkiye’de aspir üretimine yönelik destekleme uygulamaları 2017-2026 yılları itibariyle incelendiğinde hem destek türlerinde çeşitlenme hem de destekleme tutarlarında belirgin bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Temel destek (mazot-gübre desteği) 2017 yılında 15 TL/daa düzeyinden başlayarak yıllar içerisinde kademeli biçimde artmış, 2026 yılında 310 TL/daa seviyesine ulaşmıştır. Bu durum, girdi maliyetlerindeki artışa paralel olarak üreticiye sağlanan taban desteklerin güçlendirildiğini göstermektedir (Çizelge 4).

Diğer tarımsal amaçlı destekler kapsamında yer alan sertifikalı tohum üretim desteği dönem boyunca 0,50 TL/daa düzeyinde sabit kalmış olup; bu durum üretim yapısına yönelik doğrudan bir artıştan ziyade sembolik ve süreklilik arz eden bir destek niteliği taşıdığını göstermektedir. Buna karşılık sertifikalı tohum kullanım desteği 2017–2023 döneminde kademeli olarak artış göstermiş, 2024 yılında 15 TL/daa seviyesine yükselmiş, 2025 yılı itibarıyla ise yeni destekleme modeline geçişle birlikte önemli bir artış kaydederek 48,80 TL/daa ve 2026 yılında 62 TL/daa düzeyine ulaşmıştır. Özellikle 2024 yılı sonrası dönemde destekleme sisteminde yapısal bir dönüşüm gerçekleşmiş, klasik girdi bazlı desteklerin yanında üretim planlaması ve kaynak verimliliğini esas alan yeni bir model uygulamaya konulmuştur. Bu kapsamda 2025 yılından itibaren planlı üretim desteği 244 TL/daa düzeyinde uygulanmış, 2026 yılında ise 310 TL/daa seviyesine yükselmiştir. Benzer şekilde su kısıtı desteği de 195,20 TL/daa’dan 248 TL/daa’ya çıkarılarak su kaynaklarının sınırlılığı dikkate alınan bölgesel üretim teşvikleri güçlendirilmiştir (Çizelge 4).

Bu dönüşüm, tarım politikalarının yalnızca üretim maliyetlerini karşılamaya yönelik bir yapıdan çıkarak, stratejik ürünlerde üretim planlaması, sürdürülebilir kaynak kullanımı ve iklim değişikliğine uyum hedeflerini de içeren bütüncül bir yapıya evrildiğini göstermektedir. Dolayısıyla 2024 sonrası dönemde destekleme sistemindeki değişim, aspir üretiminde hem üretim kararlarını yönlendiren hem de uzun vadeli sürdürülebilirliği hedefleyen bir politika çerçevesinin oluşturulduğunu ortaya koymaktadır (Karaca vd., 2025). Türkiye’de aspir üretimi, ekim alanı ve verim göstergeleri birlikte değerlendirildiğinde ise üretim artışının doğrusal ve istikrarlı bir yapıdan ziyade dönemsel dalgalanmalarla karakterize olduğu görülmektedir (Çizelge 4). Bununla birlikte destekleme politikalarındaki çeşitlenme ve tutar artışları, özellikle 2024 sonrası yeni destekleme modeli ile birlikte değerlendirildiğinde, gelecekte aspir üretiminin daha istikrarlı ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşmasına katkı sağlayabilecek önemli bir politika aracı olarak öne çıkmaktadır.

Çizelge 4: Türkiye’de Aspir Üretimine Yönelik Destekleme Uygulamaları (2017–2026)

	2017 (TL/daa)	2018 (TL/daa)	2019 (TL/daa)	2020 (TL/daa)	2021 (TL/daa)	2022 (TL/daa)	2023 (TL/daa)	2024 (TL/daa)	2025 (TL/daa)	2026(TL/ daa)
Temel Destek (Mazot-Gübre Desteği)	15,00	16,00	21,00	21,00	28,00	97,00	124,00	185,00	244,00	310,00
Diğer Tarımsal Amaçlı Destekler (Sertifikalı tohum üretimi)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	-	-
Fark Ödemesi Desteği	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,70	-	-
Planlı Üretim Desteği	-	-	-	-	-	-	-	-	244,00	310,00
Su Kısıtlı Desteği	-	-	-	-	-	-	-	-	195,20	248,00
Sertifikalı Tohum Kullanım Desteği	4,00	4,00	4,00	5,00	5,00	10,00	15,00	-	48,80	62,00

Kaynaklar: Tarım ve Orman Bakanlığı Bitkisel Üretim Destekleri, 2026. (Erişim Tarihi: 06.06.2026) ve T.C. Resmî Gazete (2017-2026) verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Ek olarak, aspir üretim ve pazarlama yapısına ilişkin güncel bilgilerin değerlendirilmesi amacıyla Kayseri'de faaliyet gösteren Ağırnas Mimar Sinan Kadın Kooperatifi yetkilileri ile görüşme gerçekleştirilmiştir. Görüşmede, 2026 yılı üretim sezonunda aspir tohumunun kilogram fiyatının kalite özelliklerine göre 20–35 TL arasında değiştiği belirtilmiştir. Elenmiş aspir tohumunun yaklaşık 25 TL/kg, elenmemiş aspir tohumunun ise 20 TL/kg düzeyinde işlem gördüğü ifade edilmiştir. Ayrıca Göktuğ ve Yekta çeşitlerinde yağ oranlarının farklı olması nedeniyle ürün fiyatlarının da değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir.

Görüşmede, kuş yemi olarak değerlendirilen aspir tohumlarının kilogram fiyatının yaklaşık 15 TL olduğu, ithal aspir fiyatlarının ise 15–20 TL/kg aralığında değiştiği bilgisi alınmıştır. Bunun yanında yaklaşık 4 kg aspir tohumundan 1 kg yağ elde edilebildiği ve işlenmiş ürünlerde yaklaşık %5 kâr marjı hedeflendiği ifade edilmiştir. Aspir yağının pazarlanmasında başlıca satış kanalları olarak Atatürk Orman Çiftliği, Migros ve Trendyol'un kullanılmaktadır. Bu bulgular, aspirin yalnızca tarımsal üretim açısından değil, işleme ve katma değer yaratma potansiyeli bakımından da ekonomik önem taşıdığını göstermektedir.

3. TÜRKİYE’NİN ASPIR DIŞ TİCARETİNDE ORTAYA ÇIKAN GELİŞMELER

3.1.Dünya Aspir Ticaretinde Türkiye’nin Yeri

Tarım ürünleri dış ticareti, bir ülkenin tarımsal üretim kapasitesini ve sektörel rekabet gücünü ortaya koyan temel göstergelerden biridir. Özellikle yağlı tohumlar gibi stratejik ürünlerde dış ticaret yapısı hem iç üretim yetersizliğini hem de küresel piyasa entegrasyon düzeyini yansıtmaktadır. Türkiye’de bitkisel yağ açığı ve yağlı tohumlara yönelik artan talep, dış ticaret dengesini doğrudan etkileyen yapısal bir unsur olarak öne çıkmaktadır (Kıllı ve Beycioğlu, 2019; Kadakoğlu vd., 2023; Kütük Dinçel, 2024). Bu bağlamda aspir tohumu, alternatif yağ bitkisi olarak hem ithalat hem de ihracat yönüyle değerlendirilmesi gereken ürün grupları arasında yer almaktadır.

FAO ve uluslararası ticaret verileri, aspir ve benzeri yağlı tohumların küresel ticaret hacminin dönemsel dalgalanmalar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Küresel üretimde yaşanan değişimler, iklim koşulları ve üretim alanlarındaki kaymalar, ülkelerin ihracat ve ithalat performanslarını doğrudan etkilemektedir (FAOSTAT, 2026; UN COMTRADE, 2026). Bu durum, Türkiye’nin aspir dış ticaret yapısının da büyük ölçüde küresel arz-talep dengelerine bağlı olduğunu göstermektedir.

Türkiye’nin aspir dış ticareti incelendiğinde, ithalatın ihracata kıyasla daha baskın bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Üretim miktarındaki dalgalı seyir, iç talebin istikrarlı biçimde karşılanmasını zorlaştırmakta ve dönemsel olarak ithalat ihtiyacını artırmaktadır. Özellikle yağlı tohumlar sektöründe genel olarak gözlenen dışa bağımlılık eğilimi, aspir ürününde de benzer şekilde kendini göstermektedir (Onat vd., 2017; Kadakoğlu vd., 2023). İhracat tarafında ise Türkiye’nin aspir ürününe ilişkin performansı, sınırlı ve dönemsel değişim gösteren bir yapı sergilemektedir. Bu durum, aspir üretiminin büyük ölçüde iç piyasaya yönelik olması ve ihracata konu olacak fazla arzın sınırlı kalmasıyla ilişkilendirilmektedir. Ayrıca üretim

alanlarının daralması ve verimlilikteki dalgalanmalar, ihracat kapasitesinin sürdürülebilir şekilde artmasını engelleyen temel faktörler arasında yer almaktadır.

Öte yandan aspir dış ticaretinin yapısal özellikleri değerlendirildiğinde, ürünün küresel ölçekte belirli ülkelerde yoğunlaşan üretim yapısı nedeniyle rekabet koşullarının güçlü olduğu görülmektedir. Türkiye, rekabetçi küresel yapı içerisinde ağırlıklı olarak ithalatçı bir konumda yer almakta olup, yağlı tohumlar sektöründe genel olarak görülen dışa bağımlılık eğiliminin aspir özelinde de üretim kapasitesindeki sınırlılıklar nedeniyle dış ticaret dengesine yansması sonucu küresel piyasalardaki değişimlere duyarlı bir profil sergilemektedir (Kıllı ve Beycioğlu, 2019; Kadakoğlu vd., 2023). Türkiye'nin aspir dış ticareti, yağlı tohumlar piyasasının genel yapısına paralel olarak, bitkisel yağ sektöründeki arz ve talep dengesizliklerinin dış ticaret pozisyonlarını belirleyip ithalat ve ihracatı belirli coğrafyalarda yoğunlaştırması nedeniyle küresel ölçekte sınırlı sayıda ülke ile yoğunlaşan bir ticaret ağı üzerinden şekillenmektedir (Onat vd., 2017; Kıllı ve Beycioğlu, 2019). Bu durum, aspir gibi stratejik yağlı tohumlarda dış ticaret akımlarının ülke bazında analizini önemli hale getirmektedir. Küresel üretimin Kazakistan, Rusya, Hindistan ve Çin gibi ülkelerde yüksek oranlarda gerçekleşmesi, Türkiye'nin ithalat tedarik yapısını bu ülkeler etrafında şekillendirirken; ihracat tarafında ise bölgesel pazarlar ile gelişmiş ülke pazarları arasında değişkenlik gösteren bir dağılım ortaya çıkmaktadır. Bu çerçevede aspir dış ticaretinde öne çıkan ülkelerin incelenmesi, Türkiye'nin tedarik bağımlılığı, pazar çeşitliliği ve uluslararası rekabet gücünün değerlendirilmesi açısından kritik bir analiz alanı sunmaktadır. Özellikle ithalat ve ihracatın farklı coğrafi yoğunlaşma desenleri göstermesi, aspir ticaretinin yapısal özelliklerini ortaya koymakta ve sektörün dış ticaret dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Türkiye'nin aspir dış ticaret yapısı, incelenen dönemde belirgin biçimde ithalat ağırlıklı ve dalgalı bir seyir izlemektedir. 2015–2018 döneminde dış ticaret açığı yüksek düzeyde seyretmiştir. 2015 yılında ihracat 3.591 ton düzeyinde kalırken ithalat 86.476 ton olarak gerçekleşmiş ve dış ticaret açığı -82.885 ton seviyesinde oluşmuştur. 2016 ve 2017 yıllarında ithalatın artmasına karşın ihracatın düşmesi, dış ticaret dengesizliğini daha da derinleştirmiş; özellikle 2016 yılında ihracatın ithalatı karşılama oranının %2,45'e, 2017 yılında ise %0,32'ye kadar gerilemesi dikkat çekmiştir. Bu durum, söz konusu dönemde Türkiye'nin aspir ürününde büyük ölçüde ithalata bağımlı olduğunu göstermektedir (Çizelge 5).

2018 yılından itibaren ihracatın görece artış gösterdiği, buna karşılık ithalatın azaldığı bir geçiş süreci yaşanmıştır. Özellikle 2019 ve 2020 yıllarında ihracatın sırasıyla 8.235 ton ve 8.989 ton seviyelerine yükselmesi, dış ticaret açığının daralmasına katkı sağlamıştır. Bu dönemde ithalatın 28 bin ton seviyelerine gerilemesiyle birlikte ihracatın ithalatı karşılama oranı %29,32 ve %32,02 seviyelerine çıkarak incelenen dönem içerisindeki en yüksek değerlerine ulaşmıştır. Bu durum, üretim artışı ve iç piyasadaki arzın güçlenmesiyle birlikte dışa bağımlılığın kısmen azaldığı bir döneme işaret etmektedir. 2021 yılından itibaren ise dış ticaret dengesinde yeniden bozulma gözlenmektedir. İthalatın tekrar artış eğilimine girmesi ve ihracatın dalgalı bir seyir izlemesi sonucunda karşılama oranı %13,40 seviyesine gerilemiştir. 2022 ve 2023 yıllarında ithalatın sırasıyla 62.259 ton ve 119.843 ton gibi yüksek seviyelere ulaşması, dış ticaret açığını

yeniden belirgin şekilde artırmıştır. Özellikle 2023 yılı, -109.631 ton ile dönem içerisindeki en yüksek dış ticaret açığının olduğu yıl olarak dikkat çekmektedir. 2024 yılına gelindiğinde ise ithalatın 36.128 tona gerilemesi ve ihracatın 6.216 ton seviyesinde gerçekleşmesiyle birlikte dış ticaret açığı -29.911 ton seviyesine düşmüştür. Aynı yıl ihracatın ithalatı karşılama oranının %17,21'e yükselmesi, önceki yıla kıyasla kısmi bir iyileşmeye işaret etmektedir. Ancak bu iyileşmeye rağmen genel yapı incelendiğinde, Türkiye'nin aspir dış ticaretinde istikrarlı bir dengeye ulaşamadığı ve dönem boyunca ithalat bağımlılığının baskın olduğu görülmektedir (Çizelge 5).

Çizelge 5: Türkiye Aspir Dış Ticaret Verileri (Ton)

Yıllar	İhracat	İthalat	Dış Ticaret Açığı	İhracatın İthalatı Karşılama Oranı (%)
2015	3.591,10	86.476,91	-82.885,81	4,15
2016	2.903,63	118.346,53	-115.442,90	2,45
2017	290,91	91.075,37	-90.784,46	0,32
2018	611,29	47.927,23	-47.315,94	1,28
2019	8.235,25	28.087,87	-19.852,62	29,32
2020	8.989,85	28.080,08	-19.090,23	32,02
2021	4.298,00	32.073,56	-27.775,56	13,40
2022	7.616,27	62.259,19	-54.642,92	12,23
2023	10.211,99	119.843,56	-109.631,57	8,52
2024	6.216,73	36.128,00	-29.911,27	17,21

Kaynak: FAOSTAT, Crop and Livestock Products, 2026. (Erişim Tarihi: 04.06.2026)

Sonuç itibarıyla Türkiye'nin aspir dış ticaret performansı üretim dalgalanmalarıyla paralel bir seyir izlemekte; ihracatın sınırlı kalması ve ithalatın dönemsel olarak yükselmesi dış ticaret açığının sürekliliğine neden olmaktadır. Bu durum, aspir üretim kapasitesinin artırılmasının yalnızca tarımsal üretim açısından değil, aynı zamanda dış ticaret dengesi açısından da kritik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

3.2. Türkiye'nin Aspir İthalatında Öne Çıkan Ülkeler

Aspir dış ticareti içerisinde ithalat yapısı, Türkiye'nin iç üretim kapasitesi ile doğrudan ilişkili olup, küresel arz kaynaklarına bağımlılığı ortaya koyan önemli bir göstergedir. Yağlı tohumlar piyasasında üretimin belirli ülkelerde yoğunlaşması ve küresel fiyat oluşumunun bu ülkeler tarafından şekillendirilmesi, ithalatın yönünü ve yoğunlaştığı ülkeleri belirleyen temel faktörler arasında yer almaktadır (FAOSTAT, 2026; ITC TradeMap, 2026). Bu çerçevede aspir ithalatında öne çıkan ülkeler, yalnızca ticaret akışlarını değil aynı zamanda Türkiye'nin tedarik zinciri yapısını ve dışa bağımlılık düzeyini de yansıtmaktadır. Dolayısıyla ithalatın ülke bazında dağılımının incelenmesi, aspir piyasasının uluslararası entegrasyon düzeyini anlamak açısından kritik önem taşımaktadır. Küresel yağlı tohum ticaretinde üretimin sınırlı sayıda ülke tarafından domine edilmesi, ithalat akışlarının da benzer şekilde birkaç ana tedarikçi ülke üzerinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır (FAOSTAT, 2026; UN COMTRADE, 2026). Bu bağlamda Türkiye'nin aspir ithalatında da özellikle Rusya ve Kazakistan'ın belirleyici aktörler olduğu görülmektedir (Çizelge 6).

2016 yılı verileri incelendiğinde Türkiye'nin aspir ithalatının oldukça yüksek oranda Rusya üzerinden gerçekleştiği, bu ülkenin hem miktar hem de değer açısından önemli tedarikçi konumunda olduğu görülmektedir. Aynı yıl Kazakistan çok sınırlı bir payla ikincil tedarikçi olarak yer almakta, ithalat yapısının ise oldukça dar bir ülke grubuna dayandığı dikkat çekmektedir. Kazakistan'ın bölgesel üretim kapasitesi ve coğrafi yakınlığı nedeniyle Türkiye'nin aspir ithalatında önemli bir alternatif kaynak oluşturduğu söylenebilir. Bu dönem, tedarik yoğunlaşmasının en belirgin olduğu başlangıç yapısını oluşturmaktadır. 2017 ve 2018 yıllarında Rusya'nın hakimiyetinin devam ettiği, ancak ithalat miktarında kademeli bir düşüş eğilimi görüldüğü anlaşılmaktadır. Bu gerilemeye rağmen Rusya'nın ana tedarikçi rolü değişmezken, İran ve Kazakistan gibi ülkeler çok sınırlı katkılarla yapıya dahil olmuştur. Özellikle 2018 yılı itibarıyla toplam ithalat hacmindeki daralma, dış alımda miktar bazlı bir sıkışmaya işaret etmektedir. 2019–2021 döneminde ithalat yapısının yeniden şekillendiği ve dalgalı bir seyir izlediği görülmektedir. Rusya bu süreçte de ana tedarikçi konumunu sürdürmekle birlikte, toplam ithalat miktarında belirgin düşüşler ve kısmi toparlanmalar yaşanmıştır. Kazakistan özellikle 2021 yılında daha görünür bir tedarikçi haline gelmiş, buna karşın İran düşük seviyeli katkısını korumuştur. Bu dönem, tedarik yoğunlaşmasının devam ettiği ancak hacimlerin oynaklaştığı bir geçiş evresini yansıtmaktadır. 2022 ve 2023 yıllarında ise ithalat yapısında yeniden belirgin bir yoğunlaşma ortaya çıkmıştır. Rusya hem miktar hem de değer açısından çok güçlü bir artış göstererek neredeyse tek belirleyici tedarikçi konumuna yaklaşmıştır. Kazakistan ikinci önemli kaynak olmayı sürdürse de Rusya ile arasındaki fark önemli ölçüde açılmıştır. İran ise bu yıllarda yalnızca sınırlı düzeyde katkı sağlayarak genel yapıyı değiştirecek bir etki oluşturamamıştır (Çizelge 6).

2024 ve 2025 döneminde ithalat yapısında kısmi bir denge arayışı gözlenmekle birlikte, temel yoğunlaşma devam etmiştir. Rusya lider tedarikçi konumunu korurken miktar bazında dalgalanmalar yaşamış, Kazakistan ise istikrarlı biçimde ikinci sıradaki yerini sürdürmüştür. 2025 yılı itibarıyla Etiyopya'nın sisteme düşük düzeyli bir tedarikçi olarak dahil olması, sınırlı da olsa ülke çeşitliliğinde artışa işaret etmektedir. Bununla birlikte genel eğilim değerlendirildiğinde, Türkiye'nin aspir ithalatının dönem boyunca büyük ölçüde iki ana ülke (özellikle Rusya ve Kazakistan) etrafında yoğunlaştığı ve tedarik bağımlılığının yapısal bir karakter kazandığı söylenebilir (Çizelge 6).

Çizelge 6: Son On Yıl İtibariyle Aspir İthalatı Yapılan Ülkeler ve İthalat Değerleri

Yıllar	Ülkeler	İthalat Miktarı (Ton)	İthalat Değeri (Bin \$)
2016	Rusya	130.750,40	40.066,40
	Kazakistan	193,50	60,96
2017	Rusya	89.153,40	35.093,11
	İran	83,43	27,00
2018	Rusya	40.427,60	9.455,76
2019	Rusya	27.855,02	9.905,71
	Kazakistan	220,00	62,15
2020	Rusya	27.959,19	9.990,26
	İran	107,32	33,90
2021	Rusya	25.167,66	11.689,46
	Kazakistan	6.905,90	3.359,63
2022	Rusya	58.964,10	29.614,38
	Kazakistan	3.285,03	1.410,44
2023	Rusya	104.323,17	35.187.132,00
	Kazakistan	15.431,26	5.552.866,00
	İran	84,09	212,99
2024	Rusya	32.540,75	10.260,32
	Kazakistan	3.518,30	1.167,64
2025	Rusya	27.905,21	11.329,70
	Kazakistan	1.469,02	634,38
	Etiyopya	10,25	12,14

Kaynak: UN COMTRADE, Dünya Aspir Ticaret Verileri, 2026. (Erişim Tarihi: 12.06.2026)

Bu çalışma kapsamında ulaşılan bulgular doğrultusunda, Türkiye'nin aspir ithalatında ülke çeşitliliği sınırlı olup, tedarik güvenliği açısından ülkelere bağımlı bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu durum, dış ticaret açısından arz güvenliği riskini artırmakta ve Türkiye'nin aspir tedarikinde belirli ülkelere bağımlı bir yapı içerisinde bulunduğunu ortaya koymaktadır.

3.3.Türkiye'nin Aspir İhracatında Öne Çıkan Ülkeler

Aspir ihracatı, Türkiye'nin tarımsal üretim kapasitesi ve uluslararası piyasalardaki rekabet gücünü ortaya koyan önemli göstergelerden biridir. Yağlı tohumlar piyasasında ürünlerin ihracat yapısı, yalnızca üretim fazlasına bağlı olmayıp aynı zamanda küresel talep koşulları, fiyat dalgalanmaları ve tedarik zinciri dinamikleri ile de yakından ilişkilidir (Onat vd., 2017; FAOSTAT, 2026). Bu nedenle aspir ihracatında öne çıkan ülkeler, Türkiye'nin dış ticaret ağındaki yönelimlerini ve pazar çeşitliliğini anlamak açısından kritik bir analiz alanı oluşturmaktadır.

Türkiye'nin aspir ihracatı, dönemsel olarak değişkenlik gösteren ve belirli ülke gruplarında yoğunlaşan bir yapıya sahiptir. Küresel yağlı tohum ticaretinde üretici ülkelerin ihracat kapasitesi yüksek olmakla birlikte, Türkiye'nin ihracat performansı çoğunlukla üretim fazlası ve iç piyasa dengelerine bağlı olarak şekillenmektedir (Kıllı ve Beycioğlu, 2019; Kadakoğlu vd., 2023). Bu çerçevede ihracatın ülke bazında dağılımı hem Türkiye'nin pazarlama stratejilerini hem de uluslararası talep yapısını yansıtan temel bir gösterge niteliği taşımaktadır.

Dolayısıyla aspir ihracatında öne çıkan ülkelerin incelenmesi, Türkiye'nin küresel aspir ticareti içerisindeki konumunun değerlendirilmesi ve ihracat yapısının sürdürülebilirliği açısından önemli bir analiz zemini sunmaktadır.

2016 yılı verileri incelendiğinde, Türkiye'nin aspir ihracatının belirgin biçimde Irak pazarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu ülke hem miktar hem de değer bakımından toplam ihracatın büyük kısmını oluşturmakta; Birleşik Krallık ise sınırlı düzeyde tamamlayıcı bir pazar olarak konumlanmaktadır. Söz konusu yapı, ihracatın başlangıç döneminde oldukça dar bir ülke grubuna dayandığını ve coğrafi çeşitliliğin düşük olduğunu göstermektedir. 2017 ve 2018 yıllarında da Irak'ın ihracattaki baskın konumu devam etmiş, ihracat hacminde görece istikrar gözlenmiştir. Bu dönemde Suriye ve Birleşik Krallık gibi ülkeler düşük hacimli katkılarla ihracat yapısına dahil olmakla birlikte, genel pazar yapısını dönüştürecek bir çeşitlenme ortaya çıkmamıştır. Bu durum, ihracatın ağırlıklı olarak bölgesel pazarlara bağımlı bir karakter sergilediğini göstermektedir. 2019 ve 2020 yıllarında ihracat yapısında temel eğilimin büyük ölçüde korunduğu görülmektedir. Irak ana ihracat pazarı olma özelliğini sürdürürken, Suudi Arabistan ve Birleşik Krallık gibi ülkeler sınırlı paylarla ihracat kompozisyonunda yer almıştır. Bu dönem, ihracatın coğrafi yoğunlaşma düzeyinin yüksek olduğunu ve Orta Doğu merkezli yapının devam ettiğini ortaya koymaktadır. 2021 yılı itibarıyla ihracat hacminde belirgin bir daralma yaşanmasına karşın, Irak'ın lider pazar konumu değişmemiştir. Suriye gibi pazarlara yönelik düşük hacimli ihracat ise yapısal çeşitliliğin sınırlı kaldığını göstermektedir. Bu durum, ihracatın hem hacim hem de coğrafi dağılım açısından dar bir çerçevede seyrettiğine işaret etmektedir. 2022 yılında ihracat yapısında kısmi bir çeşitlenme eğilimi gözlenmektedir. Irak lider konumunu korurken, Bulgaristan ve Belçika gibi Avrupa ülkelerinin ihracat kompozisyonuna dahil olması dikkat çekmektedir. Bununla birlikte söz konusu çeşitlenme, toplam ihracat yapısını dönüştürecek düzeyde güçlü bir etki oluşturmamıştır. 2023 yılı, ihracat yapısında belirgin bir kırılmanın yaşandığı dönem olarak değerlendirilmektedir. Bu yılda ABD hem miktar hem de değer açısından en önemli ihracat pazarı konumuna yükselmiş, Irak ise ikinci sırada yer almıştır. Kanada'nın da ihracat pazarları arasında yer alması, ihracatın coğrafi kapsamının Amerika kıtası yönünde genişlemeye başladığını göstermektedir. 2024 yılı verileri incelendiğinde ABD'nin lider ihracat pazarı konumunu sürdürdüğü, Birleşik Krallık ve Irak'ın ise önemli ancak ikincil düzeyde pazarlar olarak konumlandığı görülmektedir. Bu yapı, ihracatın Orta Doğu merkezli yoğunlaşmadan kısmen uzaklaşarak Avrupa ve Amerika pazarlarına doğru yönelim sergilediğini ortaya koymaktadır. 2025 yılı itibarıyla ihracat yapısında Avrupa ülkelerinin ağırlığının arttığı dikkat çekmektedir. Hollanda ve Belçika başlıca ihracat pazarları arasında yer alırken, Birleşik Krallık da önemli bir pazar olarak varlığını sürdürmektedir. Bu gelişme, ihracatın zaman içerisinde Orta Doğu merkezli yoğunlaşmadan uzaklaşarak daha çeşitlenmiş ve coğrafi olarak genişlemiş bir yapıya evrildiğini göstermektedir. Türkiye'nin aspir ihracatının hem gelişmiş ekonomilere hem de yakın coğrafyadaki bölgesel pazarlara yöneldiği, ancak pazarlar arasında birim değer bakımından belirgin farklılıkların bulunduğu anlaşılmaktadır. Bu farklılıklar, hedef pazarların talep yapısı, ürün kullanım alanları ve kalite beklentilerindeki değişimlerle ilişkilendirilebilir (Çizelge 7).

Çizelge 7: Son On Yılda Aspir İhracatı Yapılan Ülkeler ve İhracat Değerleri

Yıllar	Ülkeler	İhracat Miktarı (Ton)	İhracat Değeri (Bin\$)
2016	Irak	7.095,09	3.523,35
	Birleşik Krallık	221	101,59
2017	Irak	6.507,18	1.915,29
	Suriye	158,27	69,27
2018	Irak	6.956,59	1.740,00
	Birleşik Krallık	85	40,2
2019	Irak	8.089,65	3.409,83
	İran	50	65,8
2020	Irak	8.878,49	3.388,15
	Suudi Arabistan	87,05	31,82
	Birleşik Krallık	17,02	8,29
2021	Irak	4.253,91	1.829,82
	Suriye	23,5	8
2022	Irak	6.476,41	2.835,20
	Bulgaristan	250,9	122,3
	Belçika	224	100,6
2023	ABD	4.549,62	3.297,73
	Irak	2.630,11	779,7
	Kanada	621	164,32
2024	ABD	1.811,89	1.049,75
	Birleşik Krallık	1.375,05	392,78
	Irak	1.156,45	298,62
2025	Hollanda	1.676,00	1.008,66
	Belçika	1.468,00	903,58
	Birleşik Krallık	1.046,32	435,71

Kaynak: UN COMTRADE, Dünya Aspir Ticaret Verileri, 2026. (Erişim Tarihi: 12.06.2026)

Türkiye'nin aspir dış ticareti genel olarak değerlendirildiğinde hem ithalat hem ihracat tarafında ülkelere göre yoğunlaşmanın belirgin olduğu ve yapısal bir asimetri barındırdığı görülmektedir.

İthalatın büyük ölçüde Rusya ve Kazakistan'dan sağlanması, özellikle Rusya'nın baskın payı nedeniyle Türkiye'nin aspir tedarikinde yüksek düzeyde dışa bağımlı bir yapı sergilediğini göstermektedir. Bu durum, ihracatta gözlenen sınırlı çeşitlenmeye rağmen ithalatın da az sayıda ülkeye bağımlı şekilde gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla Türkiye, aspir ticaretinde ihracat pazarlarını kısmen çeşitlendirebilse dahi, ithalat ve ihracat arasındaki dengesizlik nedeniyle net ithalatçı konumunu sürdürmektedir. Bu yapı, sektörün sürdürülebilirliği açısından üretim kapasitesinin artırılması ve dış ticarete daha dengeli bir pazar yapısının geliştirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır. Elde edilen verilere göre ihracat tarafı dönemsel olarak değişmekle birlikte Irak uzun süre temel pazar konumunu korurken, son yıllarda ABD, Birleşik Krallık ve bazı Avrupa ülkelerinin öne çıkması sınırlı düzeyde bir pazar çeşitlenmesine işaret etmektedir. Bununla birlikte ihracatın belirli ülkelere yoğunlaşması, kalıcı ve dengeli bir coğrafi çeşitliliğin henüz oluşmadığını göstermektedir. İhracat pazarlarında birim

değerlerin ülkelere göre farklılaşması, Türkiye'nin aspir ürünlerini farklı kalite ve kullanım alanlarına yönelik olarak değerlendirebildiğini göstermektedir.

4.TÜRKİYE’NİN ASPIR ÜRETİMİNDE KENDİNE YETERLİLİK DÜZEYİ

Kendine yeterlilik kavramı, FAO tarafından bir ülkenin belirli bir tarımsal üründe iç talebini ne ölçüde yerli üretimle karşılayabildiğini ortaya koyan temel bir gösterge olarak tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımda %100'lük eşik değeri, arz-talep dengesinin kırılma noktasını ifade etmekte; bu oranın altında kalınması dışa bağımlılığı, üzerinde olması ise arz fazlası ve ihracat potansiyelini göstermektedir. Söz konusu gösterge, Türkiye’de yağlı tohumlar ve stratejik tarım ürünlerinin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Türkiye’nin aspir üretiminde kendine yeterlilik düzeyi; $(\text{Üretim} \times 100) / (\text{Üretim} + \text{İthalat} - \text{İhracat})$ FAO’nun formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Akouegnonhou ve Demirbaş, 2019; Tunç ve Demirbaş, 2023).

Tarımsal ürünlerde üretim ve dış ticaret göstergelerinin birlikte değerlendirilmesi, ürünün arz yeterliliği ve dışa bağımlılık düzeyinin belirlenmesinde önemli bir göstergedir (Niyaz ve Demirbaş, 2011). Bu teorik çerçeve doğrultusunda aspir üretiminde kendine yeterlilik düzeyinin incelenmesi, Türkiye’nin yağlı tohumlar sektöründeki yapısal kırılganlıklarını ortaya koyması açısından önem taşımaktadır. Özellikle aspir gibi alternatif yağ bitkilerinde üretim kararlarının fiyat dalgalanmaları, destekleme politikaları ve ekim alanı tercihleriyle doğrudan ilişkili olması, yeterlilik oranlarının zaman içinde dalgalı bir seyir izlemesine neden olabilmektedir.

2015–2024 dönemine ilişkin veriler, Türkiye’nin aspir üretiminde kendine yeterlilik düzeyinin genel olarak düşük ve dalgalı bir seyir izlediğini göstermektedir. İncelenen dönemde oran %26.23 ile %52.76 arasında değişmekte olup, hiçbir yılda %100 eşik değerine yaklaşılmaması, Türkiye’nin aspir özelinde net ithalatçı yapısını sürdürdüğüne işaret etmektedir. 2015 yılında %45.78 olan yeterlilik düzeyi, 2016 yılında %33.44’e gerileyerek belirgin bir düşüş göstermiştir. Bu gerileme, üretim miktarında yaşanan daralma ve/veya iç tüketim artışıyla açıklanabilecek bir arz-talep dengesizliğine işaret etmektedir. 2017 ve 2018 yıllarında sınırlı bir toparlanma görülmekle birlikte (%35.51 ve %42.51), bu artışlar sürdürülebilir bir yükseliş trendi oluşturmamıştır. 2019 ve 2020 yıllarında yeterlilik düzeyinin sırasıyla %52.43 ve %52.76 seviyelerine yükselmesi, dönem içerisindeki en yüksek değerler olarak dikkat çekmektedir. Bu durum, ilgili yıllarda üretim alanlarında genişleme veya verimlilik artışıyla ilişkili olabileceği gibi, politik teşviklerin etkisini de yansıtabilir. Ancak bu iyileşme kalıcı olmamış, 2021 yılından itibaren belirgin bir düşüş eğilimi yeniden başlamıştır. 2021–2023 döneminde yeterlilik düzeyi sırasıyla %36.83, %35.44 ve %26.23 seviyelerine gerileyerek analiz döneminin en düşük değerini 2023 yılında göstermiştir. Bu keskin düşüş, aspir üretiminde yapısal bir kırılmaya ve dışa bağımlılığın artışına işaret etmektedir. Literatürde yağlı tohum üretiminin fiyat oynaklığı ve alternatif ürün rekabetine duyarlı olduğu (Onat vd., 2017; Kılı ve Beycioğlu, 2019) bilgileri dikkate alındığında, bu gerilemenin üretim kararlarındaki değişimlerle ilişkili olduğu söylenebilir. 2024 yılında %49.22 seviyesinde gerçekleşen kısmi toparlanma ise üretimde

yeniden bir iyileşme eğilimi olduğunu göstermekle birlikte, bu düzeyin önceki zirve yılların altında kalması, toparlanmanın henüz kalıcı bir yapıya dönüşmediğini ortaya koymaktadır (Çizelge 8).

Çizelge 8: Türkiye’de Aspir Üretiminde Kendine Yeterlilik Düzeyi

Yıllar	Üretim Miktarı (ton)	İthalat (ton)	İhracat (ton)	Yeterlilik Düzeyi (%)
2015	70.000	86.476,91	3.591,10	45,78
2016	58.000	118.346,53	2.903,63	33,44
2017	50.000	91.075,37	290,91	35,51
2018	35.000	47.927,23	611,29	42,51
2019	21.883	28.087,87	8.235,25	52,43
2020	21.325	28.080,08	8.989,85	52,76
2021	16.200	32.073,56	4.298,00	36,83
2022	30.000	62.259,19	7.616,27	35,44
2023	39.000	119.843,56	10.211,99	26,23
2024	29.000	36.128,00	6.216,73	49,22

Kaynak: FAO, 2001; TÜİK, Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2026.

Türkiye’nin aspir üretiminde kendine yeterlilik düzeyi, yapısal olarak istikrarsız, dönemsel dalgalanmalar gösteren ve dışa bağımlılığı tamamen ortadan kaldıramayan bir görünüm sergilemektedir. Bu durum, üretim planlaması, destekleme politikaları ve yağlı tohum stratejilerinin daha bütüncül ve sürdürülebilir bir çerçevede ele alınması gerektiğini göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye’de son 10 yıllık dönemde aspir üretimi ve dış ticaretinde meydana gelen gelişmeler incelenmiş; üretim miktarı, ekim alan ve verimlilik göstergeleri ile dış ticaret verileri birlikte değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, aspirin Türkiye açısından önemli bir alternatif yağ bitkisi olmasına rağmen, üretim ve ticaret yapısında henüz istikrarlı bir gelişim sürecine ulaşamadığını göstermektedir. Araştırma sonuçlarına göre, 2015–2024 döneminde aspir üretimi belirgin dalgalanmalar göstermiş, özellikle ekim alanlarında meydana gelen daralmalar üretim miktarını doğrudan etkilemiştir. Verim göstergeleri ise üretim artışlarının büyük ölçüde alan genişlemesine dayandığını, verimlilikte kalıcı ve güçlü bir yükseliş eğiliminin oluşmadığını göstermektedir. Bu durum, aspirin üretim potansiyelinin tam olarak değerlendirilemediğini ve üretim artışının yapısal verimlilik kazanımlarından ziyade dönemsel koşullara bağlı kaldığını ortaya koymaktadır.

Dünya aspir üretimindeki konumu açısından değerlendirildiğinde Türkiye, üretim miktarı bakımından küresel ölçekte orta sıralarda yer almakta ve verimlilik göstergeleri açısından birçok ülkenin üzerinde performans sergilemektedir. Bu sonuç, Türkiye’nin uygun agro-ekolojik koşullar ve üretim bilgisi açısından önemli avantajlara sahip olduğunu göstermektedir. Ancak mevcut veriler, söz konusu avantajların üretim ölçeğine yeterince yansımadığını ve

üretim alanlarının genişletilmesi konusunda önemli bir potansiyelin bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Dış ticaret verileri ise, Türkiye'nin aspir için net ithalatçı konumunu sürdürdüğünü göstermektedir. İncelenen dönemde ithalat miktarları ihracatın üzerinde gerçekleşmiş, dış ticaret açığı birçok yılda yüksek seviyelerde seyretmiştir. Özellikle ithalatın büyük ölçüde Rusya ve Kazakistan üzerinde yoğunlaşması, Türkiye'nin aspir tedarikinde yüksek düzeyde dışa bağımlı bir yapı sergilediğini göstermektedir. Buna karşılık ihracatın ABD, Irak, Hollanda, Belçika ve Birleşik Krallık gibi farklı coğrafyalarda yer alan ülkelere yönelmesi, ithalata kıyasla daha çeşitlenmiş bir pazar yapısına işaret etmektedir. Bununla birlikte ihracat gelirlerinin belirli ülkelerde yoğunlaşması ve pazarlar arasında önemli birim değer farklılıklarının bulunması, ihracatta katma değer artırılmasına ve pazar çeşitlendirme stratejilerinin güçlendirilmesine yönelik ihtiyaçların devam ettiğini göstermektedir. Kendine yeterlilik düzeyine ilişkin bulgular da bu değerlendirmeleri destekler niteliktedir. İncelenen dönemde kendine yeterlilik oranlarının hiçbir yıl %100 seviyesine ulaşmaması, Türkiye'nin aspipte iç talebi yerli üretimle karşılayamadığını ve dış kaynaklara bağımlılığının devam ettiğini göstermektedir. Özellikle üretimde yaşanan dalgalanmaların yeterlilik oranlarına doğrudan yansımaları, üretim kapasitesinin artırılmasının sektör açısından stratejik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Türkiye'de aspir üretimine yönelik destekleme politikalarının yıllar içerisinde kapsam ve tutar açısından önemli ölçüde geliştirildiği görülmektedir. Ancak destekleme miktarlarındaki artışa rağmen üretim göstergelerinde aynı doğrultuda ve istikrarlı bir yükselişin gerçekleşmemesi, desteklerin üretim artışı üzerinde tek başına belirleyici olmadığını ortaya koymaktadır. Bu durum, destekleme politikalarının üreticiyi üretime yönlendiren önemli bir araç olmakla birlikte; pazar koşulları, ürün fiyatlarının istikrarı, işleme sanayiinin gelişmişliği, sertifikalı tohum kullanımının yaygınlığı, teknik bilgi ve yayım hizmetleri gibi tamamlayıcı unsurlarla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle 2024 sonrası dönemde uygulamaya alınan yeni destekleme modeli ile üretim planlaması, kaynakların etkin kullanımı ve sürdürülebilir üretim hedeflerinin destekleme sistemine dahil edilmesi, aspir gibi stratejik yağlı tohumlarda daha bütüncül bir yaklaşımın benimsendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, aspir üretiminde sürdürülebilir bir artış sağlanabilmesi için yalnızca destekleme tutarlarının artırılması değil, desteklerin üretim kararlarıyla doğrudan ilişkilendirildiği, üretici gelirini güvence altına alan ve pazarlama kanallarını güçlendiren politikaların birlikte uygulanması önem taşımaktadır. Böylece destekleme politikalarının üretim artışına daha etkin biçimde katkı sağlaması ve Türkiye'nin yağlı tohum açığının azaltılmasında aspipten beklenen potansiyelin daha fazla değerlendirilebilmesi mümkün olabilecektir.

Elde edilen bulgular, aspir bitkisinin Türkiye açısından önemli bir alternatif yağ bitkisi olduğunu vurgulayan Babaoğlu (2004), Taşlıgil ve Şahin (2016) ile Yılmaz vd. (2021)'nin değerlendirmeleriyle uyumlu olup; üretim potansiyeline rağmen sektörün hâlen yapısal üretim ve dış ticaret sorunlarıyla karşı karşıya olduğunu göstermektedir. Aspir üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için destekleme politikalarının etkinliğinin sağlanması, sertifikalı tohum kullanımının yaygınlaştırılması ve verimlilik artırıcı araştırma-yayım faaliyetlerinin güçlendirilmesi ve ayrıca üretici gelirlerini artıracak etkin pazarlama ve

örgütlenme mekanizmalarının oluşturulması gerekmektedir. Çünkü üreticilerin ürün tercihleri yalnızca destekleme düzeylerinden değil, aynı zamanda elde edecekleri kârlılık ve pazarlama imkânlarından da etkilenmektedir (Aşçı vd., 2022). Ayrıca ithalat bağımlılığının azaltılması amacıyla yerli üretim kapasitesinin artırılması ve tedarik kaynaklarının çeşitlendirilmesi; ihracatta ise yüksek katma değer sağlayan pazarlardaki konumun güçlendirilmesi ve yeni pazarlara erişimin desteklenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda aspir bitkisinin, Türkiye'nin sürdürülebilir tarım ve yağlı tohum politikaları içerisinde daha güçlü bir konuma sahip olabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

Akınerdem, F., Stratejik ve Ekonomik Değeri Yüksek Bir Tarım Alanı: Yağ Bitkileri ve Üretim Politikaları. *Gübretaşla Verim Dergisi*, 24: 22-24, 2011.

Akkurt, E., Demirbaş, N., *Türkiye’de Mısır Üretiminde Kendine Yeterliliğin Değerlendirilmesi*, XV. IBANESS İktisat, İşletme ve Yönetim Bilimleri Kongresi, 29-30 Mayıs 2021, Plovdiv/Bulgaristan, 798-809, 2021.

Akouegnonhou, O., Demirbaş, N., Forecasting of Rice Self-Sufficiency in the Benin Republic Using ARIMA Model, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 33(3):206-217, 2019.

Aşçı, O., Çaloğlu, M., Saner, G., Örmeci Kart, M., Doğan Öz, B., Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Üretiminin Ekonomik Yönü Üzerine Bir Analiz: Konya-Beyşehir İlçesi Örneği. *Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi*, 9(2): 227-238, 2022.

Babaoğlu, M., *Neden Aspir?* Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Edirne, 2004.

Babaoğlu, M. Ülkemiz Tarımında Aspir Bitkisi ve Aspirin Geleceği. *Türkiye Tohumcular Birliği Dergisi*, 2(7): 27-29, 2013.

Babaoğlu, M., Dünya’da ve Türkiye’de Aspir Bitkisinin Tarihi, Kullanım Alanları ve Önemi. *Tarım Gündem Dergisi*, 6(36): 98-102, 2017.

Baydar, H., Erbaş, S., Yerli ve Milli Aspir Çeşitlerimiz: Olein, Zirkon ve Safır. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 233-237, 2020.

Bayramın, S., Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) – Kolza (*Brassica napus* spp. *oleifera* L.) Tarımı ve Islahı. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 15(1-2): 74-85, 2006.

Bayramın, S., Kaya, M., Son Yıllarda Ülkemiz Aspir ve Kolza Üretimindeki Gelişmeler. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 18(1-2): 43-47, 2009.

Binboğa, G., Demirbaş, N., *Türkiye'nin Lavanta Üretim ve Dış Ticaretinde Ortaya Çıkan Gelişmeler ve Mevcut Potansiyelin Değerlendirilmesi İçin Öneriler*, 3rd International Conference on New Horizons in Sciences, Casablanca, 146-160, 2023.

Demirbaş, N., Tunç, B., “Türkiye’de Buğday Üretim ve Dış Ticaretinin Kendine Yeterlilik Açısından Değerlendirilmesi”. s.101-124. Dünya’da ve Türkiye’de Sosyo-Demografik, Ekonomik ve Kültürel Boyutları ile Tarımsal Pazarlama, ss.284. Editor: N. Tapkı, IKSAD Yayınevi, Ankara, First Edition, ISBN: 978-625-367-397-0.

Eroğlu, K., Demir, İ., Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Tarımında Çiftçi Eğiliminin Belirlenmesi. *Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 1(2): 67-80, 2021.

FAO. <https://www.fao.org/4/x9892e/X9892e04.htm> (Erişim: 20.04.2026)

FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (Erişim: 04.06.2026)

İldız, H., Unakıtan, G., Aspir Üretiminin Ekonomik Analizi. *Social Sciences Research Journal*, 11(4): 567-573, 2022.

İlkdoğan, U., *Türkiye’de Aspir Üretimi İçin Gerekli Koşullar ve Oluşturulacak Politikalar*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2012.

Kadakoğlu, C., Kadakoğlu, B., Karlı, B., Yağlı Tohumlarda Türkiye'nin Küresel Rekabet Gücünün Analizi. *Tarım Ekonomisi Araştırmaları Dergisi*, 9(Ek Sayı 1): 1–14, 2023.

Kıllı, F., Beycioğlu, T., Türkiye’de ve Dünya’da Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretim Durumu. *Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi*, Özel Sayı 1: 17–33, 2019.

Niyaz, Ö. C., Demirbaş, N., Türkiye Yaş Meyve Üretim ve İhracatının Son On Yıllık Döneminin Değerlendirilmesi, *Tarım Ekonomisi Dergisi*, 17(1): 37-45, 2011.

Onat, B., Arioğlu, H., Güllüoğlu, L., Kurt, C., Bakal, H., Dünya ve Türkiye’de Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretimine Bir Bakış. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 20: 149-153, 2017.

Saygı, D., Aspir’in Yem Bitkisi Olarak Kullanımı. *Muş Alparslan Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 5(2): 41-49, 2025.

T.C. Resmî Gazete. (Çeşitli yıllar). Bitkisel Üretime Yönelik Destekleme Kararları.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı. (2021). Bitkisel Yağlar Sektör Politika Belgesi (2020–2024).

Tarım ve Orman Bakanlığı. <https://www.tarimorman.gov.tr> (Erişim: 06.06.2026).

Taşlıgil, N., Şahin, G. (2016). Stratejik Önemi Artan Bir Endüstri Bitkisi: Aspir. *Türk Coğrafya Dergisi*, 66: 51-62.

TradeMap. <https://www.trademap.org> (Erişim: 05.06.2026)

TÜİK. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr> (Erişim: 20.04.2026)

UN COMTRADE. <https://comtradeplus.un.org/TradeFlow> (Erişim: 12.06.2026)

Yılmaz, A., Yılmaz, H., Arslan, Y., Çiftçi, V., Baloch, F., Ülkemizde Alternatif Yağ Bitkilerinin Durumu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 22:93-100, 2021.

*Kişisel Görüşme: Tural, Ş. (2026). Ağırnas Mimar Sinan Kadın Kooperatifi. (Görüşme: 13.05.2026)

ORTA YAĞIŞLI BÖLGELERE YÖNELİK GELİŞTİRİLEN ARPA GENOTİPLERİN YATMA ORANLARI VE İNCELENEN ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Prof. Dr. Enver KENDAL

Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla
Bitkileri Bölümü, Mardin, Türkiye, enverkendal@artuklu.edu.tr 0535 270 79 26
<https://orcid.org/0000-0002-8812-8847>

ÖZET

Bu çalışmada ortalama yağış alanlarına yönelik geliştirilen bazı arpa genotiplerin agronomik ve morfolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca özellikler arasındaki ilişkileri ortaya koymak amacıyla basit doğrusal regresyon analizleri uygulanmıştır. Araştırmada başaklanma süresi 110–117 gün, bitki boyu 100–125 cm, yatma oranı %0–80, bin dane ağırlığı 32.3–43.3 g ve tane verimi 373–689 kg da⁻¹ arasında değişmiştir. Bitki boyu ile yatma arasında çok zayıf bir negatif ilişki belirlenmiş ($R^2 = 0.016$), bitki boyunun yatmayı açıklama gücünün düşük olduğu görülmüştür. Yatma ile tane verimi arasında negatif yönlü bir ilişki saptanmış ($R^2 = 0.095$); yatma oranındaki artışın verimde azalma eğilimine yol açtığı belirlenmiştir. Bununla birlikte ilişkinin açıklayıcılık düzeyi düşük bulunmuş ve tane veriminin yalnızca yatmadan değil, diğer agronomik ve çevresel faktörlerden de etkilendiği değerlendirilmiştir. Başak tipi ile yatma arasında da zayıf düzeyde negatif ilişki ($R^2 = 0.087$) belirlenmiş olup, başak tipinin tek başına yatmayı açıklamada yeterli olmadığı görülmüştür. Ayrıca başaklanma süresi ile yatma arasında belirgin bir doğrusal ilişki gözlenmemiştir. Yüksek verim ile düşük yatma özelliğini birlikte taşıyan genotiplerin ıslah programlarında ebeveyn materyali olarak değerlendirilebileceği düşünülmektedir. Ancak regresyon analizlerinde elde edilen düşük R^2 değerleri, yatma ve verimin çok sayıda genetik ve çevresel faktörün ortak etkisi altında şekillendiğini ve bu özelliklerin daha kapsamlı çok değişkenli analizlerle desteklenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Arpa, regresyon, genotip, yatma.

THE EFFECT OF BARLEY GENOTYPES DEVELOPED FOR MODERATE RAINFALL REGIONS ON LODGING RATES AND INVESTIGATED TRAITS

ABSTRACT

This study evaluated the agronomic and morphological characteristics of some barley genotypes developed for areas with average rainfall. Simple linear regression analyses were also applied to reveal the relationships between these characteristics. In the study, heading time ranged from 110–117 days, plant height from 100–125 cm, lodging rate from 0–80%, thousand-grain weight from 32.3–43.3 g, and grain yield from 3730–6890 kg da⁻¹. A very weak negative correlation was determined between plant height and lodging ($R^2 = 0.016$), indicating that plant height had a low explanatory power for lodging. A negative correlation was found between lodging and grain yield ($R^2 = 0.095$); it was determined that an increase in lodging rate led to a tendency towards a decrease in yield. However, the explanatory power of the relationship was found to be low, and it was concluded that grain yield is affected not only by lodging but also by other agronomic and environmental factors. A weak negative correlation ($R^2 = 0.087$) was found between spike type and lodging, indicating that spike type alone is insufficient to explain lodging. Furthermore, no significant linear relationship was observed between heading time and lodging. It is thought that genotypes exhibiting both high yield and low lodging could be considered as parental material in breeding programs. However, the low R^2 values obtained in regression analyses suggest that lodging and yield are shaped by the combined effect of numerous genetic and environmental factors, and that these traits need to be supported by more comprehensive multivariate analyses.

Key Words: Barley, regression, genotype, lodging

1. GİRİŞ

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), buğday, mısır ve pirinçten sonra dünya genelinde en yaygın yetiştirilen tahıllardan biri olup, hayvan besleme, malt sanayii ve insan beslenmesinde önemli bir yere sahiptir. Geniş adaptasyon yeteneği sayesinde kurak, yarı kurak ve ılıman iklim koşullarında başarıyla yetiştirilebilmekte, düşük girdi gereksinimi nedeniyle sürdürülebilir tarım sistemlerinde stratejik bir ürün olarak kabul edilmektedir. Küresel nüfus artışı ve iklim değişikliği nedeniyle artan gıda talebi, yüksek verimli ve çevresel streslere dayanıklı arpa çeşitlerinin geliştirilmesini bitki ıslahının temel hedeflerinden biri hâline getirmiştir (Newton

ve ark., 2011; Ceccarelli ve ark., 2010; Yang ve ark., 2023; Dawson ve ark., 2015).

Türkiye, dünyanın önemli arpa üreticisi ülkelerinden biri olup üretimin büyük bölümü yağışa dayalı tarım alanlarında gerçekleştirilmektedir. Özellikle Güneydoğu Anadolu, İç Anadolu ve Geçit Bölgelerinde yağış miktarı ve dağılımındaki yıllık değişimler verim, kalite ve bitki gelişimi üzerinde önemli etkiler oluşturmaktadır. Orta yağış alan bölgelerde vejetatif gelişme döneminde yeterli yağış yüksek biyokütle oluşumunu desteklerken, başaklanma ve tane doldurma dönemlerinde meydana gelen yoğun yağışlar ile kuvvetli rüzgârlar yatma riskini artırmaktadır. Bu nedenle söz konusu ekolojiler için geliştirilen çeşitlerin hem yüksek verimli hem de yatmaya dayanıklı olması büyük önem taşımaktadır (Kaseva et al., 2023; FAO, 2024). Yatma (lodging), bitkinin kök veya gövde kısmından eğilerek dik duruşunu kaybetmesi olarak tanımlanmakta olup tahıl üretiminde verim ve kaliteyi sınırlandıran en önemli çevresel sorunlardan biridir. Yatma sonucunda fotosentetik etkinlik azalmakta, tane dolum süresi kısaltmakta, bin tane ağırlığı düşmekte, hastalık gelişimi artmakta ve mekanik hasat güçleşmektedir. Şiddetli yatma koşullarında verim kayıplarının %20–80 arasında değişebildiği bildirilmektedir. Günümüzde yatmaya dayanıklı çeşit geliştirilmesi, kültürel uygulamalardan daha kalıcı ve ekonomik bir çözüm olarak kabul edilmektedir (Niu ve ark., 2022; Mengistie & McDonald, 2023; Kharub et al., 2022).

Yatma direnci; bitki boyu, sap çapı, boğum arası uzunluğu, sap duvar kalınlığı, lignin ve selüloz miktarı, kök mimarisi, başak ağırlığı ve biyokütle üretimi gibi çok sayıda morfolojik, anatomik ve fizyolojik özelliğin ortak etkisiyle belirlenmektedir. Özellikle yarı bodur genlerin kullanılması, Yeşil Devrim sonrasında tahıllarda yatma direncinin artırılmasında önemli ilerlemeler sağlamıştır. Ancak yalnızca bitki boyunun azaltılması yeterli olmayıp sap dayanıklılığı ile kök ankraj kuvvetinin birlikte iyileştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Bai ve ark., 2023; Yang ve ark., 2023).

Son yıllarda moleküler genetik ve genomik yaklaşımlar, yatmaya dayanıklılığın genetik kontrolünün daha ayrıntılı anlaşılmasını sağlamıştır. Genom çapında ilişkilendirme analizleri (GWAS), transkriptom çalışmaları ve genomik seleksiyon uygulamaları sayesinde sap dayanıklılığı, hücre duvarı biyosentezi ve kök gelişimi ile ilişkili çok sayıda aday gen tanımlanmıştır. Özellikle gibberellin metabolizmasını düzenleyen genlerin ve lignin sentez yollarının yatma direnci üzerinde belirleyici olduğu bildirilmektedir (Bai ve ark., 2023; Locatelli ve ark., 2023; Liaqat ve ark., 2014; Shah ve ark., 2019).

İklim değişikliği ile birlikte artan aşırı yağışlar, düzensiz rüzgâr olayları ve sıcaklık dalgalanmaları, yatma riskini geçmiş yıllara göre daha önemli hâle getirmiştir. Bu nedenle

yalnızca yüksek verimli çeşitlerin geliştirilmesi yeterli olmayıp, farklı çevre koşullarında stabil performans gösteren ve yatmaya dayanıklı genotiplerin belirlenmesi sürdürülebilir tahıl üretimi açısından kritik öneme sahiptir. Özellikle orta yağış alan bölgeler, yıllar arasında büyük çevresel değişkenlik göstermeleri nedeniyle adaptasyon çalışmalarında önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır (Dawson ve ark., 2015; Kaseva et al., 2023).

Bitki ıslahında karmaşık karakterlerin değerlendirilmesinde korelasyon, yol (path) ve regresyon analizleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Korelasyon analizi özellikler arasındaki ilişkinin yönünü ve şiddetini belirlerken, regresyon analizi bağımlı değişken üzerinde etkili olan faktörlerin göreceli katkılarını ortaya koymaktadır. Böylece yatma oranını etkileyen temel morfolojik ve agronomik özellikler belirlenebilmekte, seleksiyon kriterleri daha güvenilir şekilde oluşturulabilmektedir. Çoklu regresyon modelleri, özellikle verim ve yatma gibi çok genli karakterlerin açıklanmasında güçlü istatistiksel araçlar olarak kullanılmaktadır (Rezaei et al., 2023).

Bu çalışmada, orta yağış alan bölgelere yönelik geliştirilen arpa genotiplerinde yatma oranları belirlenmiş; yatmanın tane verimi, bitki boyu, başak uzunluğu, başakta tane sayısı, hektolitreye ağırlığı, bin tane ağırlığı ve diğer agronomik özelliklerle olan ilişkileri regresyon analizi kullanılarak değerlendirilmiştir. Araştırmadan elde edilecek bulguların, yatmaya dayanıklı ve yüksek verimli arpa çeşitlerinin geliştirilmesine yönelik seleksiyon stratejilerinin oluşturulmasına katkı sağlaması ve orta yağış alan ekolojilerine uygun yeni çeşit geliştirme çalışmalarına bilimsel temel oluşturması beklenmektedir (Shah et al., 2019).

2. MATERYAL VE METOT

Bu araştırma 2011-12 üretim sezonunda Diyarbakır ili GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğünde yürütülmüştür. Bu çalışmada bitki materyali olarak 25 genotipten oluşan içerisinde hem standart hem de hatların yer aldığı uluslararası ıslah programından elde edilen (IBYT-MRA-international Barley Yield Trial-Moderate Rainfall Aria) deneme seti kullanılmıştır.

Çizelge 1. Araştırmanın yürütüldüğü sezonlara ait iklim verileri

	Ortalama Sıcaklık(°C)		Yağış(mm)	
	2011-12	Uzun Yıllar	2011-12	Uzun Yıllar
Eylül	25	24.9	9.2	3.4
Ekim	16.4	17.2	11.8	30.4
Kasım	6.4	10.0	73.0	55.9
Aralık	2.3	4.2	40.2	71.5
Ocak	2.4	1.8	78.3	80.2
Şubat	1.9	3.6	74.4	68.6
Mart	5.1	8.1	44.0	62.2

Nisan	15.2	13.8	26.2	72.1
Mayıs	19.6	19.3	41.0	42.9
Haziran	27.7	25.9	7.0	7.1
Toplam			405.1	494.3

KAYNAK:meteor.gov.tr.2012

Araştırma Tesadüf Blokları Deneme Desenine göre yürütülmüştür. Denemede kullanılan tohumluk temizlenip, çimlenme ve saf tohumluk yüzdeleri belirlendikten sonra bin dane ağırlığına göre her alt parsel için ayrı ayrı hassas terazide tartılarak kullanılmıştır. Her parselin toplam alanı $1,2 \times 6 = 7,2$ m² olarak belirlenmiştir. Ekim en uygun ekim zamanında Wintersteiger 2200 (92 model) deneme mibzeri ile yapılmıştır.

Ekimle birlikte 20-20-0 kompoze gübresi 6' şar kg/da (P₂O₅) ve azot (N) gübre dozu gelecek şekilde tartılarak kullanılmıştır. Üst gübreleme için amonyum nitrat (% 26) 6 kg/da gelecek şekilde kardeşlenme döneminde verilmiştir. Geniş ve dar yapraklı yabancı otlara karşı granstar ile illoxan kimyasal ilaçları karıştırılarak yabancı ot bitkilerinin 2-4 yapraklı oldukları dönemde kullanılmıştır. Yol kesimleri sırasında denemenin her iki tarafından 0.5 m alınmış ve hasat, Hege deneme biçerdöveri ile $1,2 \times 5 = 6$ m² üzerinden hasat olum döneminde yapılmıştır.

Araştırma; arpa genotiplerinden elde edilen verim ve bazı parametreler den elde edilen veriler Genstat 14 paket programında analizleri yapılmış ve biplot analiz tekniği ile yorumlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Araştırmada incelenen verim, başaklanma tarihi, bitki boyu ve bin tane ağırlığına ait ortalama, minimum ve maksimum değerleri Çizelge 1' de verilmiştir.

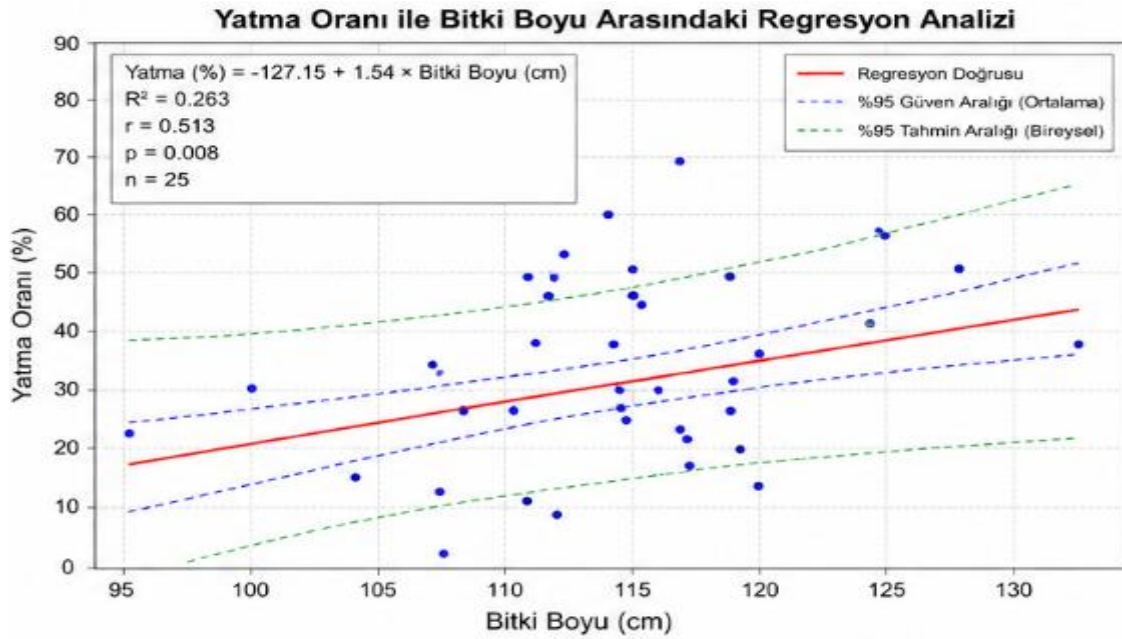
Çizelge 2. Araştırmada incelenen özelliklere ait ortalama minimum ve maksimum veriler

Çeşit Hat No	Tane Verimi (kg/da)	Başaklanma Tarihi (gün)	Bitki Boyu (cm)	Yatma Oranı (%)	Bin Tane Ağırlığı (g)	Başak Tipi
1	688.9	114	110	20	32.8	6 Sıralı
2	381.9	115	115	10	39.3	2 sıralı
3	491.7	114	115	50	34.5	6 Sıralı
4	519.4	114	125	50	41.8	6 Sıralı
5	546.7	116	105	0	39.8	6 Sıralı
6	433.3	114	110	25	33.8	2 sıralı
7	441.7	115	105	80	34.0	2 sıralı
8	497.2	114	110	50	35.0	6 Sıralı
9	447.2	114	108	40	35.0	6 Sıralı
10	452.8	116	105	60	43.3	2 sıralı
11	372.5	111	115	50	32.3	6 Sıralı
12	396.7	113	100	50	36.5	2 sıralı
13	453.6	116	105	40	34.3	6 Sıralı

14	521.1	114	110	40	39.0	6 Sıralı
15	516.7	117	105	60	38.3	2 sıralı
16	525.0	115	100	10	41.0	2 sıralı
17	488.9	110	105	40	43.0	6 Sıralı
18	568.1	115	110	20	32.5	6 Sıralı
19	469.4	114	125	50	42.3	6 Sıralı
20	515.6	114	100	80	38.0	2 sıralı
21	655.6	113	115	0	42.0	6 Sıralı
22	494.4	116	105	50	40.3	6 Sıralı
23	490.3	111	105	80	39.3	2 sıralı
24	645.3	112	120	50	43.0	6 Sıralı
25	589.7	112	110	40	37.0	6 Sıralı
Ortalama	504.0	114	110	41	37.9	
Minimum	372.5	110	100	0	32.3	
Naksimum	688.9	117	125	80	43.3	
2	Ort	461.54	114	105	51	38.1
	Min	381.94	111	100	10	33.8
	Max	525.00	117	115	80	43.3
6	Ort	528.10	114	112	37	37.8
	Min	372.50	110	105	0	32.3
	Max	688.89	116	125	50	43.0

Çizelge 1 de görüldüğü gibi İncelenen genotiplerde başaklanma süresi 110 ile 117 gün arasında değişmiştir. En erken başaklanan genotip 110 günde başaklanırken, en geç başaklanan genotip 117 günde başaklanmıştır. Genotiplerin büyük çoğunluğunun 113–116 gün arasında başaklandığı belirlenmiş olup, bu durum materyalin orta erkenci karakter gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bitki boyu 100–125 cm arasında değişmiştir. En kısa bitki boyu 100 cm, en uzun bitki boyu ise 125 cm olarak belirlenmiştir. Genotiplerin önemli bir kısmı 105–115 cm boy aralığında yer almış olup, orta boylu bitki karakteri sergilemiştir. Bin dane ağırlığı 32.3–43.3 g arasında değişmiştir. En düşük bin dane ağırlığı 32.3 g, en yüksek değer ise 43.3 g olarak saptanmıştır. Bu sonuçlar, dane iriliği bakımından genotipler arasında belirgin farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Dekara tane verimi bakımından genotipler 372.5–688.9 kg da⁻¹ arasında değerler vermiştir. En yüksek tane verimi 688.9 kg da⁻¹ ile birinci genotipte belirlenirken, bunu 655.6 ve 645.3 kg da⁻¹ verime sahip genotipler izlemiştir. En düşük tane verimi ise 372.5 kg da⁻¹ olarak kaydedilmiştir. Ortalama değerlere göre birçok genotibin 450–550 kg da⁻¹ aralığında verim oluşturduğu görülmektedir. Bu sonuçlar, incelenen materyaller arasında tane verimi bakımından dikkate değer düzeyde varyasyon bulunduğunu ve yüksek verim potansiyeline sahip genotiplerin mevcut olduğunu göstermektedir. Başak tiplerine göre değerlendirildiğinde, 6 sıralı arpa genotipleri ortalama 528.1/kg da⁻¹ tane verimi ile 2 sıralı genotiplerden (461.5 kg da⁻¹) daha yüksek verim göstermiştir. Ayrıca 6 sıralı genotipler daha

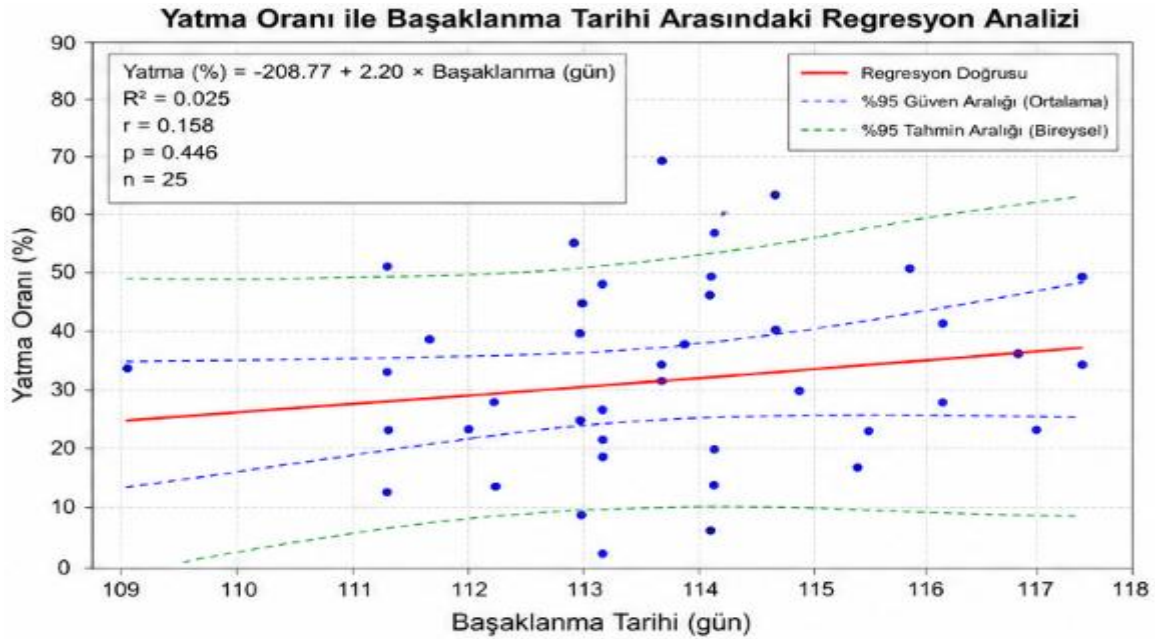
uzun bitki boyuna (112 cm) ve daha düşük yatma oranına (%36.9) sahip olmuştur. Buna karşılık, 2 sıralı genotiplerde ortalama yatma oranı %50.6 olarak belirlenmiş ve bu grup 6 sıralı genotiplere göre daha kısa bitki boyu (105cm) sergilemiştir. Bin tane ağırlığı bakımından ise iki başak tipi arasında ortalama değerler birbirine oldukça yakın bulunmuştur (2 sıralı: 38.2 g; 6 sıralı: 37.8 g). Orta yağış alan bölgelere yönelik geliştirilen 25 arpa genotipinde yatma oranı ile bazı agronomik özellikler arasındaki ilişkiler incelendiğinde, yatmanın genotiplerin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Araştırmada yatma oranı %0 ile %80 arasında değişmiş, ortalama yatma oranı ise %41.8 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, genotipler arasında yatma bakımından önemli düzeyde varyasyon bulunduğunu ve seleksiyon çalışmalarında bu özelliğin etkin şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Başak tipleri karşılaştırıldığında, iki sıralı genotiplerde ortalama yatma oranı %50.6 iken altı sıralı genotiplerde bu değer %36.9 olarak belirlenmiştir. Buna karşın altı sıralı genotipler daha yüksek ortalama tane verimi (528.1 kg da^{-1}) göstermiştir. Bu sonuçlar, araştırmada kullanılan altı sıralı genotiplerin yatmaya karşı daha toleranslı olduğunu ve verim potansiyelini daha iyi koruyabildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 1. Yatma ile bitki boyu arasındaki regresyon ilişkisi

Bitki boyu ile yatma arasındaki basit doğrusal regresyon analizi sonucunda bitki boyunun yatma üzerine etkisinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir ($R^2 = 0,016$). Regresyon katsayısı negatif olmakla birlikte (-0,417), bitki boyundaki değişim yatma oranını anlamlı düzeyde açıklayamamaktadır. Bu sonuç, incelenen materyalde yatmanın yalnızca bitki boyundan değil;

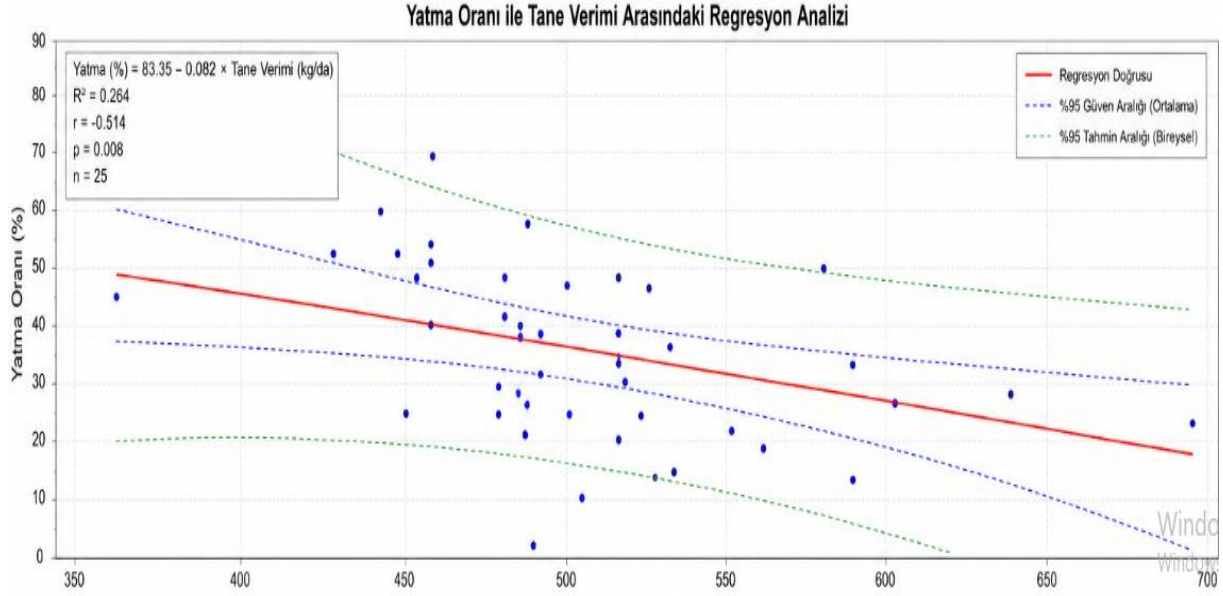
sap kalınlığı, sap dayanıklılığı ve çevresel koşullar gibi diğer faktörlerden de etkilendiğini göstermektedir. Bitki boyu ile yatma arasındaki ilişki değerlendirildiğinde, uzun boylu genotiplerde yatma eğiliminin artabileceği düşünülmekle birlikte, bu çalışmada bitki boyunun tek başına yatmayı açıklamada yeterli olmadığı görülmüştür. Örneğin 125 cm boyundaki bazı genotiplerde yatma oranı %50 düzeyinde gerçekleşirken, 115 cm boyundaki bazı genotiplerde yatma oranı %0–10 arasında bulunmuştur. Bu durum, yatmanın yalnızca bitki boyundan değil, sap dayanıklılığı, başak ağırlığı ve genotipik özelliklerden de etkilendiğini göstermektedir. Boyu uzun olan lokal veya ilkel genotiplerde, hücre çeperlerini dik tutan lignin ve selüloz birikimi genellikle üst boğumlara harcanır; bu da sap tabanının zayıf kalmasına yol açar (Berry ve ark., 2004). İslah Açısından sonuç ve strateji elde edilen veriler ve literatür ışığında, ıslah programlarında hedef "en kısa boylu" bitkiyi seçmek değildir; çünkü aşırı bodurluk yaprak alan indeksini düşürerek fotosentez kapasitesini ve dolayısıyla saman/biyokütle verimini azaltabilir. Optimum ıslah stratejisi: 95 - 110 cm arasında, sap çeperi kalın, kök sistemi güçlü ve boğum arası mesafesi dengeli (özellikle alt boğumları kısa) genotipler geliştirmektir. Nitekim paylaştığım veri setinde yer alan Hat 21 (115 cm boya rağmen %0 yatma) ve Hat 5 (105 cm boy, %0 yatma), anatomik olarak sap mekaniği güçlü genotiplere başarılı birer örnektir (Kendair, 1994; Kendal, 2016).



Şekil 2. Yatma ile başaklanma tarihi yatma arasındaki regresyon ilişkisi

Başaklanma tarihinin yatma (lodging) üzerindeki etkisi doğrudan mekanik bir ilişkiden ziyade, bitkinin yetiştirme döneminde maruz kaldığı iklimsel faktörler (çevre) ve morfolojik dengeler üzerinden dolaylı olarak gerçekleşir. Başaklanma tarihi ile yatma arasında negatif yönlü zayıf

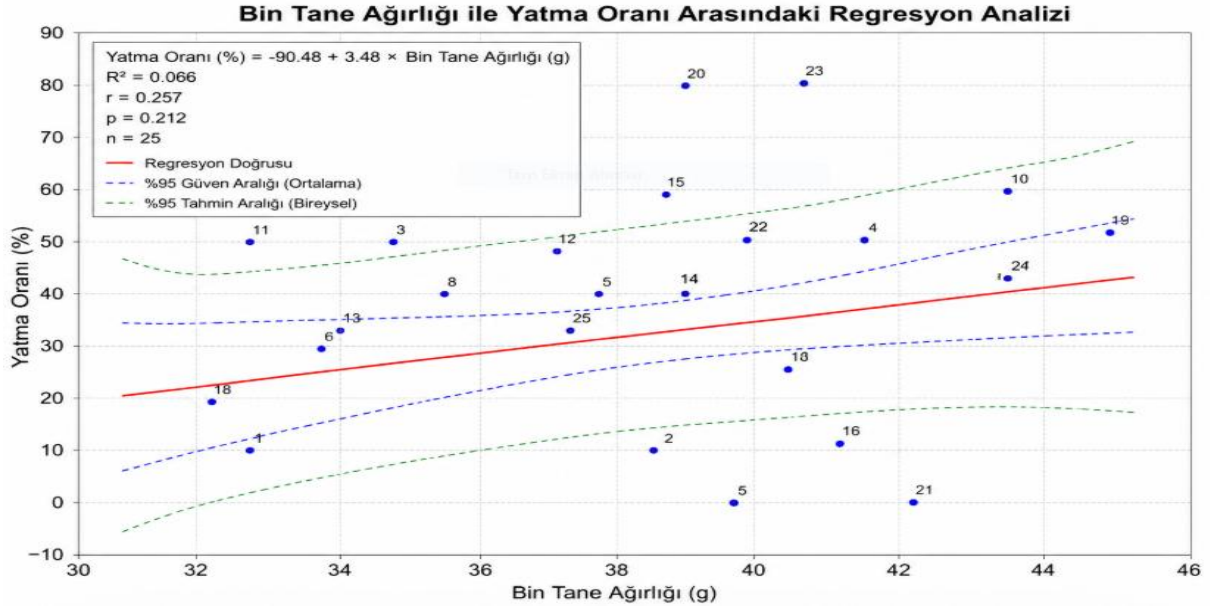
bir ilişki saptanmıştır ($R^2 = 0,087$). Başak tipi değerin artmasıyla yatma oranında azalma eğilimi görülmekle birlikte, ilişkinin açıklayıcılığı düşük olduğundan başak tipinin tek başına yatmayı belirleyen bir özellik olmadığı anlaşılmaktadır. Başaklanma tarihi ile yatma oranı arasında belirgin bir doğrusal ilişki gözlenmemiştir. Erken ve geç başaklanan genotiplerde benzer yatma oranlarının görülmesi, bu özelliğin yatma üzerinde doğrudan etkili olmadığını düşündürmektedir. Bununla birlikte başaklanma zamanı, çevresel koşullarla etkileşime girerek yatmanın ortaya çıkışını dolaylı olarak etkileyebilir. Başaklanma tarihi kısa olan (erkenci) hatlar, bahar sonu ve yaz başında meydana gelen şiddetli fırtına, sağanak yağış ve dolu gibi yatmayı tetikleyen ekstrem hava olaylarından önce olgunlaşma dönemine girerek bu riskten büyük oranda "kaçabilirler" (Pinthus, 1974). Başaklanma tarihi uzun olan (geççi) hatlar ise vegetatif dönemi uzattıkları için hem daha fazla boylanma eğiliminde olurlar hem de tanenin süt/börülce olum döneminde yaz başı fırtınalarına yakalanma riski taşırlar. Başak doldukça ağırlaşan üst kısım, rüzgar yüküyle birleştiğinde yatmayı kaçınılmaz kılar (Berry ve ark., 2004). denemenin en geççi hatlarından olan Hat 15 (117 gün) %60 yatma oranına sahipken; aynı geççilikteki Hat 5 (116 gün) ve Hat 10 (116 gün) sırasıyla %0 ve %60 yatma göstermiştir. Bu durum, başaklanma tarihinin yatma üzerinde tek başına mutlak bir belirleyici olmadığını; genotipin sap mekaniği, kök yapısı ve boyu gibi diğer agronomik karakterlerle kombine olarak yatmayı şekillendirdiğini doğrulamaktadır (Kendal, 2016). Vegetatif dönemin uzaması, internodyumların (boğum aralarının) daha fazla uzamasına ve dolayısıyla bitki boyunun artmasına yol açabilir. Bu durum, boy-yatma ilişkisinde tartışıldığı gibi ağırlık merkezini yukarı taşıyarak yatma riskini dolaylı olarak artırır (Kendir, 1994). Ancak bazı geççi çeşitlerde başaklanma sonrası sap dokuları daha yavaş yaşlanır. Erkenci çeşitler hızlıca kuruyup kırılabilirken, dengeli bir geççiliğe sahip hatların sapları hasat olumuna kadar mekanik esnekliğini koruyabilir (Sönmez ve ark., 1999).



Şekil 3. Yatma ile tane verimi arasındaki regresyon ilişkisi

Tahıl ıslahı programlarında tane verimi (grain yield) ile yatma (lodging) arasındaki ilişki, genellikle ters yönlü (negatif) ve ıslahçıların kırılması gereken en güçlü fizyolojik engellerden biridir. Belirtildiği gibi yatma oranı ile tane verimi arasında negatif yönlü bir ilişki belirlenmiştir. Regresyon modeline göre yatma oranındaki her bir birim artış verimde yaklaşık **1,09 kg da⁻¹** azalmaya neden olmaktadır. Bununla birlikte modelin açıklama gücü düşük ($R^2 = 0,095$) olduğundan, verim yalnızca yatmadan değil, birçok agronomik özelliğin ortak etkisiyle şekillenmektedir. Yatma oranı ile tane verimi arasındaki ilişki incelendiğinde, yüksek yatma oranına sahip genotiplerin genellikle daha düşük verim değerleri gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle %0–20 yatma oranına sahip genotiplerde tane veriminin 525–689 kg da⁻¹ arasında değiştiği, buna karşılık %80 yatma gösteren genotiplerde verimin çoğunlukla 442–516 kg da⁻¹ düzeyinde kaldığı görülmüştür. Bu durum, yatmanın fotosentetik etkinliği azaltarak tane dolum sürecini olumsuz etkilediğini ve sonuçta verim kayıplarına neden olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular, tahıllarda yatmanın verim üzerindeki olumsuz etkilerini bildiren araştırmalarla uyumludur (Shah et al., 2022; Mengistie & McDonald, 2024). Dane dolumu ilerledikçe başak ağırlaşır. Ağırlaşan başak, bitkinin üst kısmına binen statik yükü artırarak bitkiyi yatmaya daha hassas hale getirir. Yani potansiyel olarak en yüksek verimli hatlar, sap mekaniği güçlü değilse en kolay yatan hatlar olmaktadır (Sönmez ve ark., 1999). Denemenin en yüksek verimli olan Hat 1 (688.9/ kg/da), nispeten düşük bir yatma oranı (%20) göstererek yüksek sap mukavemetine sahip olduğunu kanıtlamıştır. Buna karşın Hat 21 (655.6/kg/da) ve Hat 5 (546.7/ kg/da), %0 yatma oranı ile hem yüksek verim potansiyeline hem de mükemmel

sap/kök direncine sahip en ümitvar ıslah materyalleridir. Hat 7 (% 80 yatma, 441.7/kg/da) ve Hat 23 (%80\yatma, 490.3/ kg/da) gibi genotipler ise yüksek yatma hassasiyetleri yüzünden genetik verim potansiyellerine ulaşamayarak ortalamanın altında kalmışlardır. Modern ıslah programlarında GGE Biplot gibi modern stabilite analizleri kullanılarak hem verimi yüksek hem de yatma riski düşük olan stabil hatların seçilmesi hedeflenir (Kendal, 2016).



Şekil 3. Bin tane ağırlığı ile yatma arasındaki regresyon ilişkisi

Bin tane ağırlığı ile yatma arasındaki ilişkiler incelendiğinde, yüksek bin tane ağırlığına sahip bazı genotiplerin düşük yatma oranı gösterdiği belirlenmiştir. Özellikle 41–43 g bin tane ağırlığına sahip bazı genotiplerde yatma oranının %0–20 düzeyinde gerçekleşmesi, güçlü sap yapısına sahip genotiplerin hem yüksek tane ağırlığı hem de yatma direnci bakımından avantaj sağlayabileceğini göstermektedir. Ancak genel olarak bin tane ağırlığının yatmayı açıklama gücünün sınırlı olduğu ve diğer morfolojik özelliklerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Başaklanma veya süt olum döneminde yatan bitkilerin sapları büküldüğü için kök ve yapraklardan başağa giden fotosentez ürünlerinin (asimilantların) iletimi sekteye uğrar. Yapraklar üst üste yığıldığından fotosentez kapasitesi düşer. Sonuç olarak daneler tam dolamaz, buruşuk kalır ve BTA ciddi oranda azalır (Sönmez ve ark., 1999). Dane dolumunun hemen başında (erken) gerçekleşen yatma BTA'yı ve verimi doğrudan düşürürken; hasada yakın (geç) dönemde gerçekleşen yatma dane dolumu tamamlandığı için BTA'yı çok fazla etkilemez, ancak hasat kayıplarına yol açar (Kendir, 1994). Hat 10 (2 Sıralı): Denemenin en yüksek BTA değerine (43.3/g) sahip olmasına rağmen %60 gibi yüksek bir oranda yatmıştır. Bu durum, dane iriliğinin getirdiği ağır yükün sap mukavemetiyle dengelenemediğini gösterir. Hat 16 (2 Sıralı): 41.0/g) gibi yüksek bir BTA değerine ulaşmasına rağmen yatma oranı sadece %10'da kalmıştır.

Bu hat, yüksek dane kalitesi ile sap mekanik direncinin ıslah yoluyla başarıyla birleştirilebildiğini kanıtlamaktadır (Kendal, 2016).

4. SONUÇLAR

Bu araştırmada, 25 arpa ıslah hattında yatma oranı ile agronomik ve kalite özellikleri arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ve literatür verileri ışığında incelenmiş, geleceğe yönelik ıslah stratejileri için şu temel sonuçlara ulaşılmıştır: Tane verimi ile yatma oranı arasında negatif yönlü bir eğilim ($Y = 527.75 - 0.58X$) saptanmıştır. Yatma olayının fotosentez kapasitesini düşürmesi ve saplardaki vasküler iletim kanallarını tıkaması nedeniyle, yatmaya hassas genotiplerde (örn. %80 yatma gösteren Hat 7 ve Hat 23) verimin belirgin şekilde düştüğü görülmüştür. Bitki boyunun uzaması ağırlık merkezini yukarı taşıyarak, başaklanma süresinin uzaması ise vejetatif aksamı büyütürken yatma riskini artırdıkları için ıslah programlarında hem verimi korumak hem de yatmayı önlemek adına optimum boy sınırının 95 - 110 cm arasında tutulması gerektiği anlaşılmıştır. Altı sıralı başak yapısına sahip arpalar (528.10/ kg/da) verim ve %37 yatma oranı ile yatmaya karşı daha dayanıklı ve yüksek verimli bir grup olarak öne çıkmıştır. İki sıralı arpaların daha yüksek bin tane ağırlığına (38.1/g) sahip olmalarına rağmen, başaktaki iri danelerin yarattığı statik yük nedeniyle %51 gibi yüksek bir ortalama yatma oranı sergilemişlerdir. Islah çalışmalarının temel hedefi olan "yüksek verim, düşük yatma ve ideal kalite" dengesini en iyi sağlayan genotipler belirlenmiştir: Hat 21 (6 Sıralı): 655.6/ kg/da) yüksek verimi, 42.0/ g) bin tane ağırlığı ve %0 yatma oranı ile denemenin en ümitvar, tescile aday genotipidir. Hat 1 (6 Sıralı): %20 gibi düşük bir yatma oranıyla denemenin en yüksek verimini (688.9/kg/da) vererek mükemmel bir performans göstermiştir. Hat 16 (2 Sıralı): 2 sıralı materyaller arasında %10 gibi çok düşük bir yatma oranı ve 525.0/ kg/da/ yüksek verim potansiyeliyle, grubunun en başarılı ve dengeli hattı olarak seçilmiştir. Arpa ıslahında sadece yüksek verime odaklanmak yanıltıcı olup; verim potansiyelinin sahada korunabilmesi için sap mekaniği güçlü, yatma direnci yüksek olan Hat 21, Hat 1 ve Hat 16 gibi genotiplerin bir sonraki aşama (kademe) denemelerine aktarılması kararlaştırılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yürütülmesinde desteğini esirgemeyen GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü yönetimi ve buğday ıslah birimi ekibine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Bai, Y., Zhao, X., Yao, X., Yao, Y., Li, X., Hou, L., ... & Wang, Z. (2023). Comparative transcriptome analysis of major lodging resistant factors in hulless barley. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1230792.
- Berry, P. M., Sterling, M., Baker, C. J., Spink, J., & Sparkes, D. L. (2004). Understanding and reducing lodging in cereals. *Advances in Agronomy*, 84, 217–271. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)84005-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)84005-7)
- Ceccarelli, S., Grando, S., Maatougui, M., Michael, M., Slash, M., Haghparast, R., ... & Nachit, M. (2010). Plant breeding and climate changes. *The Journal of Agricultural Science*, 148(6), 627-637.
- Dawson, I. K., Russell, J., Powell, W., Steffenson, B., Thomas, W. T., & Waugh, R. (2015). Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New phytologist*, 206(3), 913-931.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024). FAOSTAT Statistical Database. <https://www.fao.org/faostat/>
- Kaseva, J., Hakala, K., Högnäsbacka, M., Jauhiainen, L., Himanen, S. J., Rötter, R. P., ... & Kahiluoto, H. (2023). Assessing climate resilience of barley cultivars in northern conditions during 1980–2020. *Field Crops Research*, 293, 108856.
- Kendal, E. (2016). GGE Biplot analiz yöntemiyle makarnalık buğday genotiplerinin çoklu çevre şartlarında değerlendirilmesi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 25(1), 35–44. <https://doi.org/10.21566/tarbitderg.265532>
- Kendir, H. (1994). Arpada (*Hordeum vulgare* L.) yatma direnci ile ilgili bazı morfolojik karakterler arasındaki ilişkiler. *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 14(2), 45–52.
- Kharub, A. S., Ram, H., Singh, B., Kumar, S., Berkesia, N., Yadav, M., Singh, B. P., Kaur, M., Kumar, D., Verma, R. P. S., & Singh, G. P. (2022). Use of growth regulators for lodging tolerance and increasing productivity of barley (*Hordeum vulgare*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(11), 1306–1310.
- Liaqat, S., Ali, Z., Saddique, M. A. B., Ikram, R. M., & Ali, I. (2024). Comparative transcript abundance of gibberellin oxidases genes in two barley (*Hordeum vulgare*) genotypes with contrasting lodging resistance under different regimes of water deficit. *Functional Plant Biology*, 51(2), FP23246.
- Locatelli, A., Cuesta-Marcos, A., Gutiérrez, L., Hayes, P. M., Smith, K. P., & Castro, A. J. (2013). Genome-wide association mapping of agronomic traits in relevant barley germplasm in Uruguay. *Molecular breeding*, 31(3), 631-654.
- Mengistie, E., & McDonald, A. G. (2024). Effect of cell wall compositions on lodging resistance of cereal crops: Review. *The Journal of Agricultural Science*, 162, 1–14. <https://doi.org/10.1017/S0021859624000091>

- Newton, A. C., Flavell, A. J., George, T. S., Leat, P., Mullholland, B., Ramsay, L., ... & Bingham, I. J. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food security*, 3(2), 141-178.
- Niu, Y., Chen, T., Zhao, C., & Zhou, M. (2022). Lodging prevention in cereals: Morphological, biochemical, anatomical traits and their molecular mechanisms, management and breeding strategies. *Field Crops Research*, 289, 108733.
- Pinthus, J. M. (1974). Lodging in wheat, barley, and oats: The phenomenon, its causes, and preventive measures. *Advances in Agronomy*, 25, 209–263. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60254-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60254-8).
- Rezaei, E. E., Webber, H., Asseng, S., Boote, K., Durand, J. L., Ewert, F., ... & MacCarthy, D. S. (2023). Climate change impacts on crop yields. *nature reviews earth & environment*, 4(12), 831-846.
- Shah, L., Yahya, M., Shah, S. M. A., Nadeem, M., Ali, A., Ali, A., ... & Ma, C. (2019). Improving lodging resistance: using wheat and rice as classical examples. *International journal of molecular sciences*, 20(17), 4211.
- Sönmez, F., Ülker, M., Yılmaz, N., Ege, H., Bürün, B., & Apak, R. (1999). Kışlık buğdayda azotlu gübrelemenin verim, verim unsurları ve yatmaya etkisi. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 23(Ek 2), 461–470.
- Yang, L., Liu, J., Li, N., Pei, Y., Peng, J., & Wang, Z. (2023). An integrated strategy coordinating endogenous and exogenous approaches to alleviate crop lodging. *Plant Stress*, 9, 100197.

ARPA ISLAHI ÇALIŞMALARINDA ERKEN SELEKSİYONDA BİPLOT PROGRAMININ ETKİSİ

Prof. Dr. Enver KENDAL

Mardin Artuklu Üniversitesi, Kızıltepe Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Türkiye, <https://orcid.org/0000-0002-8812-8847>

ÖZET

Bu araştırmada, 80 adet ileri kademede hat ve 5 adet tescilli arpa çeşidi kullanılmıştır. Araştırmada ileri kademedeki hatların verim ve bazı parametreleri standart çeşitlerle kıyaslanmak üzere Diyarbakır ili sınırlarında Augmented Dizayn Deneme Desenine göre yürütülmüştür. Çalışmadan elde edilen veriler biplot analiz yöntemi ile değerlendirilmiştir. ÇÖ(Çeşit x Özellik) biplot tekniği ile tüm karakterler birlikte ele alınarak genotiplerin performansı değerlendirilmiştir. Temel Bileşen analiz tekniğinde PC1 varyasyonun %38.87, PC2 ise %24.99 ve toplamda varyasyonun % 63.86'ını oluşturmuştur. Çalışmada kullanılan scatter plot biplot tekniğine göre tane verimi ile bitki boyu ve hektolitre ağırlığı ile başaklanma süresi ile arasında pozitif, tane verimi ile bin tane ağırlığı ve bitki boyu ile negatif bir ilişki içerisinde olduğu görülmüştür. Tüm özelliklerin ortalaması bakımından yapılan Ranking biplot analizinde tüm çeşitler ortalamanın üzerinde değerlere sahip olurken bir çok hat standart çeşitlerden daha yüksek değerlere sahip olduğu belirlenmiştir. Comparison yönteminde standartlar içerisinde Aday 17 çeşidinin temsili ideal merkeze en yakın konumda konumlanarak ideal çeşit olduğu, hatlar içerisinde ise 14 ve 56 nolu hatlar ideal merkeze en yakın yerde konumlandıkları ve en ideal olduklarını göstermiştir. Ayrıca bir çok hat ortalama ve standart çeşitlerden daha yüksek değerlere sahip olduğu ve ideal oldukları ve ikinci dereceden tavsiye edilebileceği görülmektedir. ÇÖ Biplot analiz tekniği verilerin ortalamasına göre oluşturduğu grafikler ile sonuçların görsel olarak kolayca yorumlanabileceği bir teknik olduğunu kanıtlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Arpa, Bi-plot, genotip, özellik.

THE EFFECT OF THE BILOT PROGRAM ON EARLY SELECTION IN BARLEY BREEDING STUDIES

ABSTRACT

In this study, 80 advanced lines and 5 registered barley varieties were used. The study was conducted in Diyarbakır province using an Augmented Design Experiment to compare the yield and some parameters of the advanced lines with standard varieties. The data obtained from the study were evaluated using biplot analysis. The performance of the genotypes was evaluated by considering all characters together using the Variety x Trait (Variety x Trait) biplot technique. In the Principal Component Analysis technique, PC1 constituted 38.87% of the variation, PC2 24.99%, and the total variation 63.86%. According to the scatter plot biplot technique used in the study, a positive correlation was observed between grain yield and plant height, hectoliter weight, and heading time, while a negative correlation was observed between grain yield and thousand-grain weight and plant height. In the Ranking biplot analysis performed on the average of all characteristics, all varieties had values above the average, and many lines were found to have higher values than the standard varieties. In the comparison method, within the standards, Candidate 17 variety was positioned closest to the ideal center, indicating it is the ideal variety. Within the lines, lines 14 and 56 were positioned closest to the ideal center, demonstrating their ideal status. Furthermore, many lines showed higher values than the average and standard varieties, indicating they are ideal and could be recommended as a second-degree alternative. The Biplot analysis technique proved to be a technique that allows for easy visual interpretation of results through graphs generated based on the average of the data.

Key Words: Barley, Bi-plot, genotype, trait

1. GİRİŞ

Arpa (*Hordeum vulgare* L.), dünya genelinde yetiştirilen en eski kültür bitkilerinden biri olup, insan beslenmesi, hayvan yemi ve malt sanayisinin temel hammaddelerinden biri olarak stratejik öneme sahiptir (Ceccarelli, 1994). Küresel iklim değişikliği, artan nüfus ve tarımsal üretim alanlarının sınırlandırılması nedeniyle yüksek verimli, kaliteli ve çevre koşullarına dayanıklı yeni arpa çeşitlerinin geliştirilmesi günümüz bitki ıslah çalışmalarının temel hedefleri arasında yer almaktadır. Özellikle kuraklık, düşük sıcaklık, sıcaklık stresi ve hastalıklar gibi abiyotik ve

biyotik stres faktörlerinin üretim üzerindeki olumsuz etkileri, daha etkin ve hızlı ıslah yöntemlerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmiştir.

Bitki ıslahında yeni çeşit geliştirme süreci uzun yıllar almakta ve yüksek ekonomik maliyet gerektirmektedir. Geleneksel seleksiyon yöntemlerinde aday hatların farklı çevrelerde çok yıllık denemelerle değerlendirilmesi gerekmekte, bu durum hem zaman hem de iş gücü açısından önemli kısıtlar oluşturmaktadır. Bu nedenle son yıllarda erken generasyonlarda üstün genotiplerin güvenilir şekilde belirlenmesini sağlayan istatistiksel yöntemler, bitki ıslah programlarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Bernardo, 2020).. Erken seleksiyon uygulamaları sayesinde düşük performans gösteren hatlar erken aşamalarda elenebilmekte, böylece kaynaklar daha umut verici genotiplere yönlendirilebilmektedir.

Arpa ıslah programlarında erken seleksiyonun başarısı yalnızca verim düzeyinin belirlenmesine değil, aynı zamanda genotiplerin farklı özellikler bakımından birlikte değerlendirilmesine bağlıdır. Verim, başakta tane sayısı, bin tane ağırlığı, başak uzunluğu, bitki boyu ve fenolojik özellikler gibi birçok karakter birbirleriyle ilişkili olup, bu özelliklerin birlikte analiz edilmesi seleksiyon etkinliğini artırmaktadır. Ancak çok sayıda özelliğin aynı anda değerlendirilmesi klasik istatistiksel yöntemlerle oldukça güçleşmektedir (Yan & Tinker, 2006).

Bu noktada çok değişkenli istatistiksel analiz yöntemlerinden biri olan GGE (Genotype and Genotype $\times$ Environment) Biplot analizi, bitki ıslahında yaygın olarak kullanılan güçlü görselleştirme araçlarından biri olarak öne çıkmaktadır. GGE Biplot yöntemi, genotip ana etkisi ile genotip $\times$ çevre interaksiyonunu birlikte değerlendirerek genotiplerin performansını iki boyutlu grafikler üzerinde yorumlama olanağı sağlamaktadır (Yan, 2001). Ayrıca genotipler arasındaki benzerliklerin, karakterler arasındaki ilişkilerin, ideal genotiplerin ve üstün performans gösteren adayların kolaylıkla belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu yönüyle GGE Biplot, yalnızca çok çevreli denemelerde değil, erken seleksiyon aşamalarında da karar verme sürecini destekleyen önemli bir analiz yöntemi olarak kabul edilmektedir (Jalata, 2011). Bu çalışmanın amacı, arpa ıslah programlarında erken seleksiyon aşamasında değerlendirilen genotiplerin çoklu agronomik özellikler bakımından GGE Biplot analizi kullanılarak incelenmesi ve bu yöntemin seleksiyon etkinliğine olan katkısının ortaya konulmasıdır. Çalışmada, erken generasyonlarda elde edilen veriler üzerinden genotipler arasındaki ilişkiler, karakterlerin seleksiyon üzerindeki etkileri ve üstün aday hatların belirlenmesinde Biplot analizinin sağladığı avantajlar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların, arpa ıslah programlarında daha hızlı, güvenilir ve etkin seleksiyon stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlaması beklenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu araştırma 2010-11 üretim sezonunda Diyarbakır ili GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğünde yürütülmüştür. Bu çalışmada bitki materyali olarak farklı kurumlar tarafından geliştirilen ve bölgede yetiştiriciliği yapılan Aday 17, Akhisar, Sur 93, Şahin 91 ve Vamıkhoça çeşitleri ile birlikte 80 adet aday hat kullanılmıştır.

Çizelge 1. Araştırmanın yürütüldüğü ile ait yıllık ve uzun yıllar sıcaklık değerleri ve yağış miktarları

Aylar	Diyarbakır			
	Ortalama Sıcaklık (°C)		Yağış(mm)	
	2010-2011	U.Yıllar	2010-2011	U.Yıl.
Eylül	27.0	24.9	0.4	7.0
Ekim	18.1	17.2	63	14.9
Kasım	11.1	10.0	0	38.0
Aralık	6.5	4.2	48	94.3
Ocak	3.5	1.8	40	121.7
Şubat	4.7	3.6	49.9	121.0
Mart	9.0	8.1	46.6	27.3
Nisan	13.0	13.8	209	77.9
Mayıs	17.7	19.3	80.3	38.4
Haziran	25.5	25.9	13.6	0
Toplam			550.8	540.5

KAYNAK:meteor.gov.tr.2011

Araştırma Augmented Deneme Desenine göre yürütülmüştür. Denemede kullanılan tohumluk temizlenip, çimlenme ve saf tohumluk yüzdeleri belirlendikten sonra bin dane ağırlığına göre her alt parsel için ayrı ayrı hassas terazide tartılarak kullanılmıştır. Her parselin toplam alanı $1,2 \times 6 = 7,2$ m² olarak belirlenmiştir. Ekim en uygun ekim zamanında Wintersteiger 2200 (92 model) deneme mibzeri ile yapılmıştır.

Ekimle birlikte 20-20-0 kompoze gübresi 6' şar kg/da (P₂O₅) ve azot (N) gübre dozu gelecek şekilde tartılarak kullanılmıştır. Üst gübreleme için amonyum nitrat (% 26) 6 kg/da gelecek şekilde kardeşlenme döneminde verilmiştir. Geniş ve dar yapraklı yabancı otlara karşı granstar ile illoxan kimyasal ilaçları karıştırılarak yabancı ot bitkilerinin 2-4 yapraklı oldukları dönemde kullanılmıştır. Yol kesimleri sırasında denemenin her iki tarafından 0.5 m alınmış ve hasat, Hege deneme biçerdöveri ile $1,2 \times 5 = 6$ m² üzerinden hasat olum döneminde yapılmıştır.

Araştırma; arpa genotiplerinden elde edilen verim ve bazı parametreler den elde edilen veriler Genstat 14 paket programında analizleri yapılmış ve biplot analiz tekniği ile yorumlanmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Araştırmada incelenen verim, başaklanma tarihi, bitki boyu, hektolitre ağırlığı ve bin tane ağırlığı Augmented deneme desenine göre değerlendirilmiş ve varyans analiz sonuçlarına göre çeşitler arasındaki fark istatistiki açıdan $p<0.05$ ve $p<0.01$ seviyesinde önemli olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 1). Ayrıca özellikler arasındaki ilişkiler biplot analiz yöntemine göre değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Araştırmada incelenen özelliklere ait veriler ve oluşan gruplar

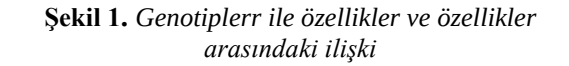
Çeşit Hat No	TV (kg/da)	BT (gün)	BB (cm)	HA (kg/hl)	BTA (g)	Hat No	TV (kg/da)	BT (gün)	BB (cm)	HA (kg/hl)	BTA (g)
1	598.3	114	120	68.9	50.0	47	558.7	119	125	64.7	42.5
2	556.5	114	100	68.9	48.8	48	623.8	118	120	71.1	42.5
3	599.2	115	110	67.8	48.8	49	480.3	118	120	68.5	42.5
4	668.3	114	125	69.2	48.8	51	872.5	116	110	68.3	40.0
6	563.7	113	125	69.0	47.5	52	532.2	116	120	70.6	41.3
7	653.7	120	120	67.0	47.5	53	651.0	116	125	64.3	42.5
8	618.7	117	125	70.7	47.5	54	711.5	117	120	70.6	37.5
9	571.7	117	120	66.6	47.5	56	586.5	117	105	68.0	43.8
11	532.2	117	130	60.8	46.3	57	562.5	110	105	62.2	43.8
12	654.0	117	140	69.0	46.3	58	720.5	116	115	67.9	42.5
13	531.3	113	130	69.7	46.3	59	678.3	118	110	65.9	38.8
14	466.2	123	135	65.7	46.3	61	554.3	112	105	63.5	43.8
16	714.0	115	120	65.2	45.0	62	738.7	115	115	65.4	47.5
17	469.7	117	125	67.4	45.0	63	555.2	109	115	62.4	43.8
18	706.3	117	125	67.5	45.0	64	580.0	111	110	69.9	40.0
19	667.0	115	120	69.5	45.0	66	648.5	116	110	69.5	42.5
21	438.5	109	120	62.9	45.0	67	502.0	120	125	70.0	42.5
22	402.8	112	115	62.6	45.0	68	547.2	119	125	70.3	47.5
23	542.3	123	130	67.3	45.0	69	553.7	112	115	57.1	48.8
24	390.8	120	120	66.0	43.8	71	700.8	115	120	65.2	45.0
26	578.5	115	105	68.6	43.8	72	515.8	110	100	64.0	43.8
27	532.0	118	130	69.7	43.8	73	672.0	121	110	67.1	47.5
28	785.3	116	130	70.0	43.8	74	516.2	120	120	69.9	48.8
29	442.3	123	135	64.8	43.8	76	623.7	112	115	63.1	46.2
31	578.5	114	125	68.4	43.8	77	619.5	112	95	65.0	45.0
32	642.8	118	115	68.2	43.8	78	512.0	115	110	63.1	42.5
33	463.5	108	110	64.4	43.8	79	579.0	116	120	69.1	43.8
34	554.7	112	90	67.8	43.8	81	595.3	119	120	64.9	35.0
36	487.7	115	110	63.7	42.5	82	576.7	107	105	57.7	42.5
37	685.3	112	105	68.9	42.5	83	748.0	120	115	69.3	41.3
38	748.7	117	120	69.7	42.5	84	757.3	116	120	65.1	42.5
39	695.7	112	105	70.0	42.5	86	655.8	107	115	64.7	42.5
41	636.2	115	110	67.4	42.5	87	842.8	112	110	65.9	42.5
42	680.0	109	105	67.8	42.5	88	666.7	114	120	70.4	40.0
43	583.7	118	120	70.0	42.5	89	691.5	121	120	69.5	37.5
44	599.2	118	125	70.2	42.5	91	542.0	116	110	64.3	41.2
46	526.7	117	110	66.1	42.5	92	568.7	114	110	61.8	43.8

Aday-17	691.7	116	119	68.2	39.1	93	638.3	122	125	67.1	42.5
Akhisar	529.9	115	116	68.5	41.3	94	751.3	116	115	65.8	42.5
Sur-93	607.6	115	116	68.8	42.5	96	704.2	119	130	65.9	38.8
Şahin 91	549.5	115	113	66.7	46.3	97	656.3	120	130	69.5	50.0
Vamıkhoca	696.1	113	113	68.4	40.9	98	557.3	112	105	69.6	42.5
CV(%)	12.5	3.92	8.90	2.41	7.84	99	627.7	108	100	67.4	41.3
AÖF(0.5)	120.9	7.42	14.85	2.29	5.48						

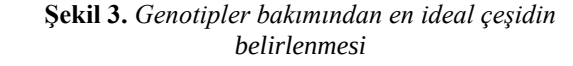
TV:tane verimi, BT: başaklanma tarihi, BB: bitki boyu, HA: hektolitre ağırlığı, BTA:bin tane ağırlığı

Araştırmada kullanılan çeşitler ile incelenen özellikler arasındaki ilişkilerin biplot analiz yöntemine göre yorumlanması

Biplot tekniği ile araştırmada kullanılan çeşitler ile incelenen özellikler arasındaki ilişkiler görsel olarak farklı açılardan grafiklerle incelenebilmektedir (Şekil 1, 2, 3). GT biplot tekniği, incelenen varyasyon kaynaklarını iki yönlü olarak incelememizi kolaylaştırmaktadır. Bir yandan incelenen özellikler arasındaki ilişki, öbür taraftan ise genotipler ile özellikler arasındaki ilişki açıklanmaktadır. İki özelliğe ait vektörler arasındaki açı değeri ($>0^{\circ}$ -- $<90^{\circ}$) daraldıkça özellikler arasındaki ilişki pozitif, açı değeri (90° -- $<180^{\circ}$) arttıkça negatif bir ilişki olduğunu göstermektedir (Bakhshi ve ark., 2023;Kendal, 2020). Ayrıca grafik üzerinde gösterilen genotiplerin bulundukları konumlarına ve özelliklere olan uzaklık ve yakınlıklarına göre hangi genotipin hangi özellikler bakımından yüksek veya düşük değerlere sahip olduğunu göstermektedir (Şekil 1). Biplot analizinde ilk iki temel bileşen toplam varyasyonun %63.86'sını açıklamıştır ($PC1=\%38.87$; $PC2=\%24.99$). Bin tane ağırlığı, başak boyu ve başaklanma süresi vektörlerinin birbirine yakın yönelmesi, bu özellikler arasında pozitif korelasyon bulunduğunu göstermektedir. Hektolitre ağırlığı da bu özelliklerle pozitif ilişki gösterirken, tane verimi vektörü ters yönde konumlanmış ve verim ile kalite özellikleri arasında zayıf ile orta düzeyde negatif ilişki olduğunu ortaya koymuştur. Biplotta 73, 74 ve Şahin-91 bin tane ağırlığı bakımından; 57 ve Aday-17 hektolitre ağırlığı bakımından; 82, 78 ve 34 ise tane verimi bakımından öne çıkan genotipler olarak belirlenmiştir. Merkeze yakın konumlanan genotipler ise değerlendirilen özellikler bakımından ortalama performans sergilemiş olup, belirgin bir üstünlük göstermemiştir.



Ranking biplot (Total - 63.86%)



Ranking biplot yöntemi, tüm özelliklerin ortalama değerleri kullanılarak bir grafik oluşturulmaktadır (Şekil 2). Bu grafik iki eğri (ok ile gösterilen dikey ve yatay eğri) ile açıklanmaktadır. Dikey eğri özelliklerin ortalamasını, ok ile gösterilen yatay eğri ise tüm özelliklerin ortalaması bakımından genotiplerin stabilitesini göstermektedir. Çeşitler stabilite eğrisine (ok ile gösterilen yatay eğri) olan uzaklık ve yakınlıklarına göre stabil durumları açıklanmaktadır. Eğer çeşitler eğrinin tam üzerinde ise tüm özellikler bakımından oldukça stabil olduğunu göstermektedir (Dyulgerova & Dyulgerov 2023). Biplot analizinde ilk iki temel bileşen toplam varyasyonun %63.86'sını açıklamıştır (PC1=%38.87; PC2=%24.99). Ortalama eksenini boyunca sağ tarafta yer alan genotipler daha yüksek genel performans gösterirken, sola doğru konumlanan genotipler ortalamanın altında performans sergilemiştir. Genotip 74, 73, 14, 62 ve 56 ortalama eksenini üzerinde ve ideal genotip yönüne yakın konumlanarak değerlendirilen agronomik özellikler bakımından üstün performans göstermiştir. Buna karşılık 96, 43, 22, 24 ve 34 numaralı genotipler ortalama ekseninin solunda yer almış ve düşük performans grubunda değerlendirilmiştir. Ortalama eksene dik olan stabilite eksenine dikkate alındığında, 74 ve 62 numaralı genotiplerin hem yüksek performans hem de daha kararlı özellik kombinasyonu sergilediği belirlenmiştir. Ayrıca bin tane ağırlığı, başaklanma tarihi, bitki boyu ve hektolitreye ağırlığı aynı doğrultuda yer alarak bu özellikler arasında pozitif ilişkiler bulunduğunu, tane veriminin ise farklı yönde konumlanması nedeniyle verim ile bazı kalite özellikleri arasında zayıf veya negatif ilişki bulunduğunu göstermiştir.

Comparison biplot grafiği özelliklere ait ortalama değerler kullanılarak bir ideal merkez ve dikey ortalama eğrisi oluşturulur (Şekil 3). Genotipler ortalama dikey eğrinin altında konumlanmış ise bunlar öncelikli elenir. Genotipler ortalamanın üzerinde ideal merkeze yakın konumlanmış ise bunlar elverişli ve çeşit adayları olarak belirlenebilmektedir (Abu-Ellail, & Sasy, 2021). Comparison biplot analizinde ilk iki temel bileşen toplam varyasyonun %63.86'sını açıklamıştır (PC1=%38.87; PC2=%24.99). Eşmerkezli dairelerin merkezi ideal genotipi temsil etmekte olup, merkeze yakın konumlanan genotipler çoklu özellikler bakımından daha üstün performans göstermektedir. Analiz sonucunda 73, 14, 62 ve 56 numaralı genotipler ideal genotipe en yakın materyaller olarak belirlenmiştir. Bu genotipler bin tane ağırlığı, bitki boyu, hektolitreye ağırlığı ve başaklanma süresi bakımından dengeli ve üstün performans sergilemiştir. Buna karşılık 96, 43, 22 ve 34 numaralı genotipler ideal genotipten en uzak konumda yer almış ve genel performanslarının düşük olduğu belirlenmiştir. Özellik vektörleri incelendiğinde bin tane ağırlığı ile bitki boyu arasında güçlü pozitif ilişki bulunurken,

tane verimi vektörünün ters yönde yer alması verim ile bazı kalite özellikleri arasında zayıf veya negatif bir ilişki olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, 73, 14, 62 ve 56 numaralı genotipler erken seleksiyon programlarında ileri generasyonlara aktarılabilir en umut verici adaylar olarak değerlendirilmiştir (Kılıç ve ark., 2018).

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, erken generasyonlarda GT Biplot analizinin uygulanmasının, yalnızca tane verimine dayalı seleksiyona göre daha kapsamlı ve güvenilir bir değerlendirme sağladığını ortaya koymuştur. Özellikle verim ile kalite özelliklerinin birlikte ele alınması, farklı özellik kombinasyonlarına sahip üstün genotiplerin belirlenmesine olanak vermiştir. Elde edilen bulgular, GT Biplot analizinin arpa ıslah programlarında erken seleksiyon etkinliğini artıracak, zaman ve maliyet tasarrufu sağlayabilecek güvenilir bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, GT Biplot analizinin erken seleksiyon aşamalarında rutin olarak kullanılması, çeşit geliştirme programlarının başarısını artıracak önemli bir strateji olarak önerilmektedir. Bu çalışma sonucunda 2, 8, 9, 19, 22, 29, 34, 46, 47, 54, 57, 62, 66, 69, 72, 78, 82, 86, 88 ve 98 nolu hatlar bir ileri generasyona alınmak üzere seçilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yürütülmesinde desteğini esirgemeyen GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi Müdürlüğü yönetimi ve buğday ıslah birimi ekibine teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- Ceccarelli, S. (1994). Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica*, 77(3), 205-219.
- Bernardo, R. (2020). Reinventing quantitative genetics for plant breeding: something old, something new, something borrowed, something BLUE. *Heredity*, 125(6), 375-385.
- Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian journal of plant science*, 86(3), 623-645.
- Yan, W. (2001). GGEbiplot—A Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. *Agronomy journal*, 93(5), 1111-1118.
- Jalata, Z. (2011). GGE-biplot analysis of multi-environment yield trials of barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in Southeastern Ethiopia highlands. *International journal of plant breeding and genetics*, 5(1), 59-75.

- Kendal, E. (2020). Investigation of genotype, yield× traits (GYT) combination with the biplot technique: a new approach to the selection of genotypes based on multiple traits. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, Vol. 35, No. 3, 382-395.
- Kiliç, H., Kendal, E., & Aktaş, H. (2018). Evaluation of yield and some quality characters of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes using biplot analysis. *Agriculture & Forestry/Poljoprivreda i Sumarstvo*, 64(3), 101-111.
- Bakhshi, B., & Shahmoradi, S. S. (2023). Simultaneous selection of high-yielding and drought-tolerant barley landraces using GT, GYT and GYSI methodologies. *Cereal Research Communications*, 51(1), 237-248.
- Dyulgerova, B., & Dyulgerov, N. (2023). genotype by yield* trait biplot for genotype evaluation in winter barley. *AGROFOR International Journal*, 8(2).
- Abu-Ellail, F. F. B., & Sasy, A. H. (2021). GT biplot analysis for yield and related traits in some sugar beet varieties as affected by compost under saline soil. *Egyptian Journal of Applied Science*, 36(3), 66-83.

**THE EFFECTS OF PHYSICAL AND BIOLOGICAL PROCESSES ON THE
ELEMENT (MACRO, MICRO AND TOXIC ELEMENTS) CONTENTS OF RAW,
GERMINATED AND DRIED LEGUME SEEDS**

Dr. Ayşegül KORKMAZ¹

¹University of Selçuk, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of
Agricultural, 42031, Konya-Turkey,
aysegul.korkmaz22@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-6745-5742

Assoc. Prof. Nurhan USLU²

²Selçuk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering,
Konya, Türkiye
nurhanuslu.gmuh@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-1392-8604

Research Assistant Sevde Nur ÇATALTEPE^{2*}

^{2*}Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering,
Samsun, Türkiye
sevdenur.cataltepe@omu.edu.tr
ORCID ID: 0009-0005-1570-3301
*Corresponding author

Prof. Dr. Mehmet Musa ÖZCAN²

²Selçuk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering,
Konya, Türkiye
mozcan@selcuk.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-5024-9512

ABSTRACT

Heat treatments were applied to germinated legume seeds. P contents of germinated legumes subjected to microwave and oven heat treatments were determined between 2395.84 (mung bean) and 4727.15 (bean) to 2797.66 (mung bean) and 6508.05 mg/kg (bean), respectively. P contents of raw and germinated legumes were found to range from 2995.23 (broad bean) and 3542.04 (lentil) to 3515.91 (broad bean) and 7892.98 mg/kg (bean), respectively. In general, the highest average macroelement contents were detected in germinated legume samples (except K). The microelement detected in the highest amounts in legume samples was Fe, followed by Zn, Mn, B and Cu in decreasing order. The Fe contents of microwave-dried and oven-dried germinated legume samples were determined between 32.40 (chickpea) and 65.47 mg/kg (broad bean) and 35.63 (chickpea) and 80.90 mg/kg (lentil), respectively. The toxic element detected in the highest amounts in legume samples was Mo, followed by Co, Se, and Al in decreasing order.

Key words: Legume seeds, germination, drying, elements, ICP-OES

1. INTRODUCTION

Legumes are the seeds of various plants, including beans (*Phaseolus vulgaris* L.), peas (*Pisum sativum*), lentils (*Lens culinaris*), chickpeas (*Cicer arietinum* L.), and broad beans (*Vicia faba*). Legumes are an excellent source of macro and micronutrients (Sozer et al. 2017; Zhou et al. 2023). Legumes are annual plants belonging to the Leguminosae family, which are one of the oldest human foods because they increase the nutritional and phytochemical content, which is vital for a naturally balanced diet (Grembecka et al. 2022), and produce edible seeds used for human and animal consumption. Legumes constitute valuable sources of proteins, unsaturated fatty acids, and bioactive compounds such as mineral components (Kumar, 2020; Karolkowski et al. 2021). Legumes, which are widely cultivated in the world, have bioactive compounds with therapeutic effects that help modify human metabolism and have an important role in human diets due to the presence of these components (Oyeyinka et al., 2017). Legumes are rich in phenolics such as flavonoids, procyanidins, anthocyanins, phenols and tannins, which fight against breast cancer and cardiovascular diseases and show hypercholesterolemic effects, and have high antioxidant capacity potential (Zhang et al., 2015; Giusti et al., 2017). During germination, reserves in the seed's storage tissues are mobilized to support seedling growth, and protective responses are elicited through the synthesis of phenolics and other compounds (Gharachorloo et al., 2012; Özcan and Juhaimi, 2014; Alkaltham et al., 2020). Furthermore, some of the seed's reserve material is degraded and used partly for respiration and partly for the synthesis of new cell components of the developing embryo during germination, leading to significant changes in the biochemical, nutritional, and sensory properties of legumes (Vidal-Valverde et al., 2002). Although germinated legumes have a reduced oil content, they have higher vitamin (e.g., riboflavin) and mineral (e.g., sodium, magnesium, iron, and zinc) contents because the availability of essential nutrients increases through the mobilization of seed reserves during germination (Kiersnowska and Jakubczyk, 2022). Germinated legumes can be consumed as food/powder, as well as used as medicinal materials in pharmaceutical or medical industries, and the possibility of commercialization of products made from germinated legumes is significantly high (Ying et al., 2013; Chinma et al. 2021). Plant-based foods are a good source of nutrients, dietary fiber, minerals, and phenolic compounds, and legumes, especially beans, contain bioactive compounds such as phenolic compounds, protease inhibitors, phytic acid, and saponins. Edible seeds and sprouts are an excellent alternative to plant foods, as they can be consumed fresh at any time of the year and are a good source of antioxidants such as phenolic acids, flavonoids, trace elements, and vitamins (Paśko et al., 2009). Sprouting, a biotechnological process used to soften seeds by breaking down their cell walls, develop different aromas, tastes, and colors, produce reducing sugars, and increase the availability of vital nutrients in grains (Gupta et al., 2010), has led conscious consumers to change their eating habits and turn to natural foods rich in vitamins, minerals, bioactive compounds, and antioxidants due to the phytochemical compounds formed. With the increasing consumption of sprouted grains as functional foods in daily nutrition, research on the bioactive compound and antioxidant capacity contents of sprouted grains has also increased (Alkaltham et al., 2020; Li et al., 2022). Drying is one of the most important method used for fruit and vegetable preservation, and during hot-air drying, vegetables undergo physico-chemical and

nutritional differences which affected quality attributes like texture, colour, flavour and nutritional value (Di Scala and Crapiste, 2008). As a gluten-free food source, legumes also provide essential minerals such as K, P, Mg, Ca, Fe, Zn, and Mn (Sinkovič et al., 2022). Various analytical methods, such as inductively coupled plasma optical emission spectroscopy (ICP-OES), have been used to analyze the elemental composition. This integrated approach, which includes microwave-assisted acid digestion and ICP-OES, has been used for the analysis of elements (P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, B, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb, Ni, Cr, As, Al, Ba, Co, Mo, N, Se) in most legume cultivars, providing data on their quality and safety. The main objective of this study was to investigate the effects of germination and drying on the element (macro, micro and toxic elements) contents of some germinated legume seeds.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

The legumes used in this study were obtained from farmers in Konya province in Türkiye in 2025 (Figure 1). After removing foreign matter such as stems and leaves, the seeds were subjected to germination. The control group was not germinated.

2.2. Methods

In the study, seeds from five different plants (chickpeas, beans, lentils, mung beans, and broad beans) were used and compared with ungerminated seeds as a control group. The chickpea, bean, lentil, mung bean, and broad bean seeds were first washed with distilled water, drained, and cleaned. Distilled water was added to the seeds to a volume three times their volume, and they were left to soak for 24 hours at room temperature ($24\pm1^{\circ}\text{C}$) in a dark environment. At the end of the soaking period, the seeds were drained and placed between two layers of filter paper and cotton. Care was taken to ensure that the seeds were spread in a thin layer and not touched each other. The seeds were watered with distilled water every 24 hours, and germination was stopped after five days (Figure 2).

Figure 1. Seeds used (A-Lentil, B-Mung Bean, C-Faba Bean, D-Chickpea, E-Bean)

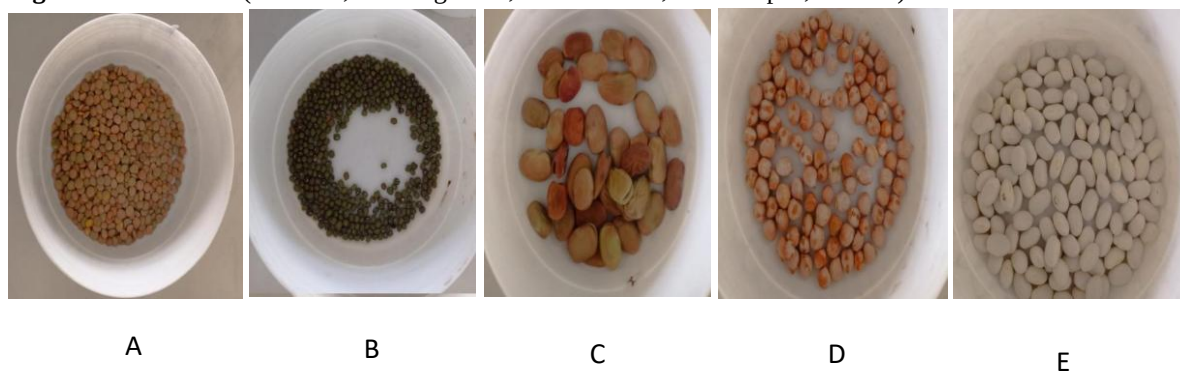
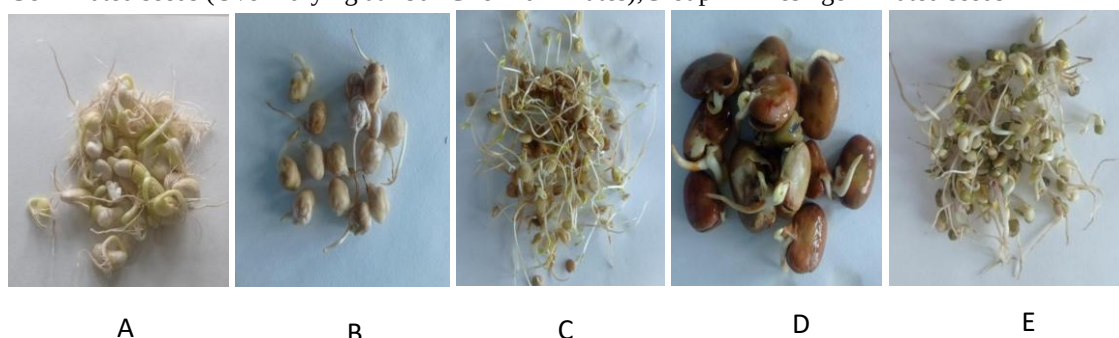


Figure 2. Germinated seeds (A-Bean, B-Chickpea, C-Lentil, D-Faba Bean, E-Mung bean)

Group 1- Dry seeds (control); Group 2 - Germinated seeds (Microwave - 720 W drying in 16 minutes);3.Group- Germinated seeds (Oven- drying at 180 °C for 20 minutes);Group 4 - Fresh germinated seeds



2.3. Element analysis

Toxic element contents of the samples were assessed by ICP-OES (Agilent-5110) device. After 0.5 g powdered legume samples were inginerated in a microwave device at 210 °C and 200 PSI pressure in 5 ml of concentrated HNO₃ and 2 ml of H₂O₂ (30% w/v), the volumes of the dissolved samples were completed to 20 mL with deionized water. Then, element concentrations in the legume samples were analyzed with ICP-OES (Tošić et al. 2015). The raw results (reading values) obtained as a result of the reading were multiplied by the coefficient determined for each sample and thus the element amounts in the sample were determined in mg /kg unit.

2.4. Statistical analysis

The JMP statistical program was used for the statistical analysis of results. Statistically changes were determined by the analysis of variance (ANOVA) procedure in all data p<0.05).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Macroelement contents of raw and germinated legume seeds

Macro element contents of germinated legumes germinated and dried in different systems (microwave and oven systems) are shown in Table 1. Heat treatments were applied to germinated legume seeds. P contents of germinated legumes subjected to microwave and oven heat treatments were determined between 2395.84 (mung bean) and 4727.15 (bean) to 2797.66 (mung bean) and 6508.05 mg/kg (bean), respectively. P contents of raw and germinated legumes were found to range from 2995.23 (broad bean) and 3542.04 (lentil) to 3515.91 (broad bean) and 7892.98 mg/kg (bean), respectively. The macroelement detected in the highest amounts in legume samples was K. Potassium contents of legume samples subjected to microwave and oven heat treatment were determined to range from 8650.84 (mung bean) and 17446.09 (bean) to 6546.96 (broad bean) and 11269.08 (bean), respectively. In addition, while the K contents of untreated raw legumes ranged from 9725.02 (lentil) to 14378.99 mg/kg (bean), the K contents of germinated legumes were determined to be between 6491.09 (lentil) and 14611.16 mg/kg (bean). While the Ca contents of microwave-dried germinated legumes ranged from 474.63 (lentil) to 1361.23 mg/kg (broad bean), the Ca contents of oven-dried

germinated legumes were determined to be between 864.60 (lentil) and 1158.07 mg/kg (chicpea). Ca contents of raw and germinated legume samples were determined between 535.38 (lentil) and 1882.63 (bean) and 1164.69 (mung bean) and 1957.75 mg/kg (broad bean), respectively. Another macroelement detected in lower amounts in legume samples compared to P and K contents was Mg. Mg contents of microwave and oven-dried germinated legumes were determined between 841.31 (lentil) and 1555.32 (bean) to 750.01 (lentil) and 1337.43 mg/kg (mung bean), respectively. Mg contents of raw and germinated legume samples were determined between 644.25 (lentil) and 1231.59 mg/kg (mung bean) and 1171.02 (lentil) and 1748.13 mg/kg (bean), respectively. In general, the highest average macroelement contents were detected in germinated legume samples (except K), and the lowest and highest average macroelement contents were detected in lentil and bean samples (except P), respectively.

Table 1. Macroelement contents of raw, germinated and dried legume seeds)

Samples	P					K					Ca					Mg				
	----- (mg/kg) -----																			
	1.Grou p	2.Grou p	3.Grou p	4.Grou p	Mean	1.Grou p	2.Grou p	3.Grou p	4.Grou p	Mean	1.Grou p	2.Grou p	3.Grou p	4.Grou p	Mean	1.Grou p	2.Grou p	3.Grou p	4.Grou p	Mean
Faba bean	2995. 23 FG*	460 6.95 C	3613 .97 DE	351 5.91 DE	3683. 01 C	12836. 77 BCD	9486. 45 EFG	654 6.96 I	8414 .16 F-I	9321 .09 B	740.39 IJ	1361 .23 CD	102 8.99 FG	195 7.75 A	127 1.96 B	940.70 IJK	133 5.50 C-F	105 7.9 GH	1346.8 1 CDE	1170.23 B
Bean	3319. 47 EF	472 7.15 C	6508 .05 B	789 2.98 A	5611. 91 A	14378. 99 BC	17446 .09 A	112 69.0 8 DE	1461 1.16 B	1442 6.33 A	1882.6 3 A	1330 .83 CD	102 8.99 FG	153 4.28 B	144 4.18 A	1151.05 FGH	155 5.32 B	133 7.4 3 C-F	1748.1 3 A	1447.98 A
Mung bean	3145. 77 EFG	239 5.84 H	2797 .66 GH	352 5.54 DE	2968. 70 D	12484. 44 CD	8650. 84 FGH	982 7.60 EF	9827 .60 EF	9637 .84 B	646.32 JKL	554. 77 KL M	987. 93 GH	116 4.69 EF	838. 43 D	1231.59 D-G	953. 48 IJ	102 4.8 5 HIJ	1405.7 4 BCD	1153.91 B
Lentil	3542. 04 DE	364 6.21 DE	4012 .94 D	458 2.90 C	3946. 02 B	9725.0 2 EF	9716. 34 EF	756 2.93 GHI	6491 .09 I	8373 .85 B	535.38 LM	474. 63 M	864. 60 HI	122 5.88 DE	775. 12 D	644.25 L	841. 31 JK	750 .01 KL	1171.0 2 E-H	851.64 C
Chickpea	3324. 19 EF	341 3.60 EF	3560 .57 DE	394 1.02 DE	3559. 84 C	12307. 02 D	10202 .48 EF	724 8.78 HI	6659 .92 HI	9104 .55 B	1099.7 7 EFG	682. 19 JK	115 8.07 EF	145 8.47 BC	109 9.63 C	1065.82 GHI	110 4.34 GHI	112 8.0 GH	1469.5 7 BCD	1191.93 B
Mean	3265. 34 D	375 7.95 C	4098 .64 B	469 3.67 A		12346. 45 A	11100 .44 A	849 1.07 B	8752 .96 B		980.90 B	880. 73 C	101 3.61 B	146 8.22 A		1006.68 C	115 7.99 B	105 9.6 4 C	1428.2 5 A	

(* $p < 0.05$)

3.2. Microelement contents of raw and processed legume seeds

The microelement contents of raw, germinated, microwave-dried and oven-dried legume seeds are given in Table 2. It was observed that legume samples were generally rich in microelement contents. The microelement detected in the highest amounts in legume samples was Fe, followed by Zn, Mn, B and Cu in decreasing order. The Fe contents of microwave-dried and oven-dried germinated legume samples were determined between 32.40 (chickpea) and 65.47 mg/kg (broad bean) and 35.63 (chickpea) and 80.90 mg/kg (lentil), respectively. Fe contents of raw and germinated legume samples were determined between 26.86 (broad bean) and 67.19 (lentil) and 41.30 (chickpea) and 104.12 mg/kg (lentil), respectively. While the Zn contents of raw legume samples varied between 3.26 (lentil) and 30.82 (chickpea), the Zn contents of germinated legume samples were determined between 25.75 (bean) and 42.78 mg/kg (lentil). In addition, the Zn contents of microwave-dried germinated legume samples varied between 18.70 (mung bean) and 35.47 mg/kg (lentil). The lowest and highest Zn contents

of roasted legumes were determined in mung bean and lentil samples, respectively. The Mn contents of microwave and oven-dried germinated legume samples were determined between 2.55 (chickpea) and 25.92 (bean) and 10.41 (lentil) and 20.40 mg/kg (chickpea), respectively. In addition, the Mn contents of raw and germinated legumes were determined between 8.10 (broad bean) and 19.75 (chickpea) and 9.51 (mung bean) and 22.44 mg/kg (chickpea), respectively. Depending on the treatments applied to the legume samples, average Cu and B contents were determined between 8.91 (control) and 10.41 mg/kg (germinated legume seeds) and 11.57 (germinated legume seeds) and 14.81 mg/kg (control), respectively. Also, depending on the legume seed types, average Cu and B contents of the legume samples were determined between 6.55 (chickpea) and 10.43 mg/kg (broad bean) and 9.19 (chickpea) and 18.40 mg/kg (lentil), respectively.

Table 2. Microelement contents of raw, germinated and dried legume seeds (mg/kg)

Samples	Fe					Zn					Cu					Mn					B				
	1.Group	2.Group	3.Group	4.Group	Mean	1.Group	2.Group	3.Group	4.Group	Mean	1.Group	2.Group	3.Group	4.Group	Mean	1.Group	2.Group	3.Group	4.Group	Mean	1.Group	2.Group	3.Group	4.Group	Mean
Faba bean	26.86 I*	65.4 7 D	54.90 D-G	43. 31 E-H	47 .6 4 C	23. 46 H- K	27. 44 D- G	21.9 3 95 JKL	26. 26. E-H	24.9 4 BC	8.6 1 F-I	11. 11 BC	9.59 D-G	12.4 3 AB	10. 43 A	8.1 0 H	9. 96 E- H	10 .5 8 E F G	10.5 4 EFG	9.8 0 D	10. 52 E- H	12.9 4 D	8.40 IJ	10.13 F-I	10.50 D
Bean	42.92 E-H	56.9 9 DE	52.36 D-G	81. 76 B	58 .5 1 B	21. 86 JK L	27. 32 D- G	22.2 8 I- L	25. 75 F-I	24.3 0 C	7.9 0 HI J	10. 08 CD E	6.54 KL	9.87 C-F	8.6 0 B	19. 12 C	25 .9 2 A	20 .3 4 B C	15.7 5 D	20. 28 B	13. 33 D	15.1 9 C	12.1 6 DE	10.20 F-I	12.72 C
Mung bean	46.30 E-G	35.2 1 HI	52.36 D-G	65. 73 CD	49 .8 9 C	23. 98 G- K	22. 35 I-L	18.7 0 L	29. 35 C-F	23.6 0 C	8.5 2 F-I	8.5 1 GH I	9.14 E-H	13.6 2 A	9.9 5 A	8.3 6 GH	9. 72 E- H	11 .3 4 E F	9.51 FG H	9.7 3 D	19. 26 AB	11.7 3 D- G	15.4 3 C	11.90 DEF	14.58 B
Lentil	67.19 BCD	55.6 0 DEF	80.90 BC	104 .12 A	76 .9 5 A	3.2 6 BC	33. 06 BC	35.4 7 B	42. 78 A	35.8 9 A	12. 47 A	8.8 3 E- I	7.59 IJK	10.5 5 CD	9.8 6 A	11. 58 EF	11 .9 6 E	10 .4 1 E- H	14.7 4 D	12. 17 C	21. 08 A	19.5 4 A	17.4 5 B	15.54 C	18.40 A
Chickpea	39.84 GHI	32.4 0 HI	35.63 HI	41. 30 F-I	37 .3 0 D	30. 82 D	29. 61 CD E	20.4 2 KL	30. 82 CD	26.3 8 B	7.0 3 JK	6.5 4 KL	7.07 JK	5.55 L	6.5 5 C	19. 75 C	2. 55 A	20 .4 0 B C	22.4 4 B	22. 04 A	9.8 7 HI	9.05 HIJ	7.78 J	10.06 GHI	9.19 E
Mean	44.62 C	49.1 4 BC	55.22 B	67. 24 A	26. 48 B	27. 96 B	23.7 6 C	29. 90 A	8.9 1 B	9.0 1 B	7.99 C	10.4 1 A	13. 38 C	16 .6 2 A	14 .6 1 B	14.6 0 B	14 .6 1 B	14.6 0 B	14. 81 A	13.6 9 B	12.2 4 C	11.57 C			

(* $p < 0.05$)

3.3. Toxic element contents of raw and processed legume seeds

Toxic element contents of raw (control), germinated, microwave-dried, and oven-dried legume samples are shown in Table 3.

Table 3. Toxic element contents of raw, germinated and dried legume seeds (mg/kg)

Table 6. Folic acid content of raw, germinated and dried legume seeds (mg/kg)																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid																									
Folic acid</																									

* $p < 0.05$

Differences were observed in the toxic element contents of legume samples depending on the treatment applied and legume type. The toxic element detected in the highest amounts in legume samples was Mo, followed by Co, Se, and Al in decreasing order. While Mo contents of raw legumes ranged from 0.21 (broad bean) to 18.49 mg/kg (mung bean), Mo contents of germinated legumes ranged from 0.20 (broad bean) to 22.13 mg/kg (mung bean). Mo contents of microwave- and oven-dried germinated legume samples ranged from 0.356 (broad bean) and 20.649 (mung bean) to 0.258 (broad bean) and 17.339 mg/kg (mung bean). It was observed that Mo was absorbed more by mung bean. In addition, Se contents of raw and germinated legume seeds ranged from 0.33 (broad bean) and 2.140 (mung bean) to 0.258 (broad bean) and 3.118 mg/kg (mung bean), respectively. Also, Se contents of microwave- and oven-dried germinated legume seeds were determined to range from 0.361 (lentil) and 2.618 (mung bean) to 0.343 (lentil) and 2.41 mg/kg (mung bean), respectively. Al contents of raw and germinated legume seed samples were determined to range from 0.01 (bean) and 0.97 (mung bean) to 0.013 (bean) and 1.23 mg/kg (mung bean), respectively. In addition, Al contents of microwave- and oven-dried legume samples were determined to range from 0.03 (bean) and 1.01 (mung bean) to 0.010 (bean) and 1.01 mg/kg (mung bean), respectively. This may be due to the fact that Al, Mo and Se inhibitor metabolites are not secreted in mung bean plant root cells and therefore cannot be held by the root cells and are transferred to the generative organ of the plant. Co contents of raw and germinated legume seeds ranged from 0.15 (chickpea) and 2.03 (broad bean) to 0.11 (chickpea) and 1.70 mg/kg (broad bean), respectively. Also, Co contents of microwave-dried germinated legume seeds ranged from 0.10 (chickpea) to 2.17 mg/kg (broad bean), respectively. The amounts of other toxic elements detected in the legume samples were at very low levels. Depending on the treatments applied to the legume seeds, the average As and Ba amounts of the legume samples ranged from 0.029 (Oven) and 0.034 (microwave and germination) to 0.13 (control) and 0.16 (microwave), respectively.

In general, the element group detected in the highest amounts in both raw (control) and treated legumes was macroelements, followed by microelements and toxic element groups in decreasing order. The macroelement detected in the legume samples was K, followed by P, Mg, and Ca in decreasing order. Overall, the highest macroelement content was detected in bean samples. Furthermore, the lowest Mg contents were detected in lentil samples. Lentil and chickpea samples were generally rich in Fe and Mn, respectively. Lentil samples were also observed to have a high potential for Zn content. Furthermore, the highest amounts of B element accumulated in lentil samples. In general, the macro, micro, and toxic element contents of legume samples increased with drying and germination compared to controls. In legume samples, the lowest and highest Al contents were detected in broad bean and mung bean samples, respectively. Additionally, the highest Ca was detected in the broad bean sample, while the lowest Co was detected in the chickpea sample. Furthermore, the lowest and highest Mo element contents accumulated in the broad bean and mung bean seed samples, respectively. This increase may be due to an increase in dry matter due to increased water loss from the seeds during drying, as well as the release of bound elements in the seed as a result of biochemical reactions during germination. In addition, while P contents of seeds changed from 2,719 mg/kg (*L. albus* L.) to 5,792 mg/kg (*V. sinensis* (L.) Savi), Ca contents ranged at the levels between

1,309 mg/kg (*C. arietinum* L.) and 2,781 mg/kg (*L. albus* L.) (Özcan et al. 2013). K and P amounts of untreated (control) and germinated legume seeds were recorded to be between 4939.97 (Barbunya bean shell) and 14113.25 mg/kg (Barbunya sprout) to 1690.42 (Soaked barbunya bean shell) and 13131.59 mg/kg (soaked Barbunya seed without Shell), respectively (Gökmen Yılmaz et al. 2024). . In addition, while Ca values of barbunya bean samples are established between 282.60 (Soaked barbunya bean without shell) and 6021.32 mg/kg (Barbunya bean cotyledon without sprout), Mg amounts of barbunya bean samples were recorded to be between 2026.31 (Soaked barbunya bean without shell) and 2018.28 mg/kg (untreated barbunya bean seed) (Gökmen Yılmaz et al. 2024). Fe and Zn amounts of untreated (control) and germinated legume seed parts were assigned to be between 19.69 (soaked barbunya seed without shell) and 39.26 mg/kg (barbunya cotyledon without sprout) to 10.49 (soaked barbunya seed without Shell) and 28.52 mg/kg (untreated barbunya seed), respectively (Gökmen Yılmaz et al. 2024). Bean, pea and chickpea and lentil contained 7, 7.36, 6.96 and 7.50 mg/100g Fe, 3.0, 3.01, 3.54 and 3.73 Zn, 197, 96, 124 and 71 Ca and 250, 132, 155 and 129 mg/100g Mg, respectively (Fachmann et al. 2000). The levels of minerals in legumes generally range between 1.5–5.0 µg/g Cu, 0.05–0.60 µg/g Cr g, 18.8–82.4 µg/g Fe g, 32.6–70.2 µg/g Zn, 2.7–45.8 µg/g Al g, 0.02–0.35 µg/g Ni g, 0.32–0.70 µg/g Pb (Cabrera et al. 2003). The concentrations of Cu, Fe, Mn, Zn, and Ni were varied from 23.6–48, 67.7–132.3, 15–26.5, 37.6–68.2, and 25.5–33.3 in chickpea, 39.8–80.5, 116.1–180.5, 12.1–21.6, 36.4–57.2, and 25.4–34.1 for lentil and 32–64.2, 51.6–100.0, 6.3–15, 25.3–42.5, and 25.5–48.5 mg/kg for peas, respectively (Muche et al. 2023). The mean concentration of trace elements in the analyzed legume samples was in the following order: Ni (24.2–57 mg/kg) > Cr (0.8–4.1 mg/kg) > Pb (0.07–1.2 mg/kg) > Cd (0–0.07 mg/kg) (Pastor et al. 2024). Macro and micro element contents of different legumes differed according to seed parts depending on seed types and treatments applied. When the amounts of macro and micro elements in seeds are compared with the results of studies conducted by Fachmann et al. (2000), Cabrera et al. (2003), Muche et al (2023), Vadivel and Janardhanan (2000) and Özcan et al (2013), our findings showed differences. These differences may possibly be due to seed type, drying types, germination conditions and duration. Also, The observed differences may be probably due to different legumes, locality, harvest period and the nutritional status of the plants as well as other factors that can influence the mineral contents.

REFERENCES

- Alkaltham, M.S., Salamatullah, A.M., Özcan, M.M., Uslu, N., & Hayat, K. (2020). The effects of germination and heating on bioactive properties, phenolic compounds and mineral contents of green gram seeds, *LWT – Food Science and Technology*, 134, 110106.
- Cabrera, C., Lloris, F., Gimenez, R., Olalla, M., Lopez, M.C. (2003). Mineral content in legumes and nuts: Contribution to the Spanish dietary intake. *The Science of the Total Environment*, 308, 1–14.
- Chinma, C.E., Abu, J.O., Asikwe, B.N., Sunday, T., Adebo, O.A. (2021). Effect of germination on the physicochemical, nutritional, functional, thermal properties and in vitro digestibility of Bambara groundnut flours. *Lwt*, 140, 110749. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110749>
- Di Scala, K., Crapiste, G., 2008. Drying kinetics and quality changes during drying of red pepper. *Lebens. Wiss. -Technol.* 4, 789–795. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.06.007>
- Fachmann, W., Souci, S.W., Kraut, H. (2000). *Food Composition and Nutrition Tables*, p. 1182.
- Gharachorloo, M., Tarzi, B. G., Baharinia, M., & Hemaci, A. H. (2012). Antioxidant activity and phenolic content of germinated lentil (*Lens culinaris*). *Journal of Medicinal Plants Research*, 6(30), 4562-4566.
- Giusti, F., Caprioli, G., Ricciutielli, M., Vittori, S., Sagratini, G., 2017. Determination of fourteen polyphenols in pulses by high performance liquid chromatography-diode array detection (HPLC-DAD) and correlation study with antioxidant activity and colour. *Food Chem.* 221, 689-697. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.118>
- Gökmen Yılmaz, F., Özcan, M.M., Korkmaz, A., Özcan, M. Mete (2024). Monitoring of selected macro and microelements in some sprouted legume seeds by microwave-assisted digestion and ICP-OES. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 30 (4), 343-351
- Grembecka, M., Szefer, P. (2022). Elemental Profiles of Legumes and Seeds in View of Chemometric Approach. *Appl. Sci.* 12, 1577. <https://doi.org/10.3390/app1203157>
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N. & Gallagher, E. (2010). Barley for brewing: characteristic changes during malting, brewing and applications of its by-products. *Comprehensive Review Food Science and Food Safety* 9, 318-328
- Karolkowski, A., Guichard, E., Briand, L., Salles, C. (2021). Volatile Compounds in Pulses: A Review. *Foods* 10, 3140. <https://doi.org/10.3390/foods10123140>
- Kiersnowska, K., Jakubczyk, A., 2022. Bioactive peptides obtained from legume seeds as new compounds in metabolic syndrome prevention and diet therapy. *Foods* 11(20), 3300. <https://doi.org/10.3390/foods11203300>
- Kumar, S.; Pandey, G. (2020). Biofortification of pulses and legumes to enhance nutrition. *Heliyon* 6, e03682.

- Li, R., Wang, Q., Zhao, G., Peng, H., Zhang, D., & Li, Z. (2022). Effects of germination time on phenolics, antioxidant capacity, *in vitro* phenolic bioaccessibility and starch digestibility in sorghum. *International Journal of Food Science and Technology* 57, 5175- 5185.
- Muche, F., Dessie Ezez, Atnafu Guadie & Molla Tefera (2023): Metal distribution and human health risk assessment in legumes crops (chickpea, lentils and peas) from Belesa districts, Ethiopia, *International Journal of Environmental Health Research*, DOI: 10.1080/09603123.2023.2229771
- Oyeyinka, S.A., Singh, S., Amonsou, E.O. (2017). Physicochemical properties of starches extracted from bambara groundnut landraces. *Starch-Stärke* 69, 1600089. <https://doi.org/10.1002/star.201600089>
- Özcan, M.M., Juhaimi, F. (2014). Effect of sprouting and roasting processes on some physico-chemical properties and mineral contents of soybean seed and oils, *Food Chemistry*, 154,337–342.
- Paško, P., Bartoń, H., Zagrodzki, P., Gorinstein, S., Fołta, M., & Zachwieja, Z. (2009). Anthocyanins, total polyphenols and antioxidant activity in amaranth and quinoa seeds and sprouts during their growth. *Food Chemistry*, 115(3), 994-998. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.037>.
- Sinkovič, L., Pipan, B., Šibul, F., Nemeš, I., TepičHorecki, A., Meglič, V.(2022). Nutrients, phytic acid and bioactive compounds in marketable pulses. *Plants* 12, 170. <https://doi.org/10.3390/plants12010170>.
- Sozer, N., Holopainen-Mantila, U., Poutanen, K. (2017). Traditional and New Food Uses of Pulses. *Cereal Chem. J.* 94(1), 66.
- Tošić, S.B., Mitic, S.S., Velimirovic, D.S., Stojanovic, G.S., Pavlovic, A.N., & Pecev-Marinkovic, E.T. (2015). Elemental composition of edible nuts: fast optimization and validation procedure of an ICP- OES method. *Journal of the Science and Food Agriculture* 95, 2271–2278.
- Vadivel, V., Janardhanan, K. (2000). Nutritional and anti-nutritional composition of velvet bean: An under-utilized food legume in South India. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 51, 279–287.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Sierra, I., Blazquez, I., Lambein, F., Kuo, Y. (2002). New functional legume foods by germination: effect on the nutritive value of beans, lentils and peas. *European Food Research and Technology*, 215(6), 472-477. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-002-0602-2>.
- Ying, M., Azlan, A., Al-Sheraji, S.H., Hassan, F.A., Prasad, K.N., 2013. Antioxidant activities and total phenolic content in germinated and non-germinated legume extracts following alkaline-acid hydrolysis. *Pak. J. Nut.* 12, 1036.
- Zhang, B., Deng, Z., Ramdath, D.D., Tang, Y., Chen, P.X., Liu, R., *et al.*, (2015). Phenolic profiles of 20 Canadian lentil cultivars and their contribution to antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase and pancreatic lipase. *Food Chem.* 172, 862-872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.144>
- Zhou, J., Li, M., Bai,Q., de Souza, T.S.P., Barrow,C., Dunshea, F., Suleria, H.A.R. (2023). Effects of Different Processing Methods on Pulses Phytochemicals: An Overview, *Food Reviews International*, DOI: 10.1080/87559129.2023.2212041.

**DETERMINATION OF MINERAL AND TOXIC ELEMENT CONTENTS OF
DIFFERENT PARTS OF FARMED AND NATURAL SEA BASS GROWN IN THE
AEGEAN AND THE BLACK SEA**

Dr. Ayşegül KORKMAZ¹

¹University of Selçuk, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of
Agricultural, 42031, Konya-Turkey,
aysegul.korkmaz22@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-6745-5742

Dr. Assistant Professor

Fatma Gökmen Yılmaz¹

¹University of Selçuk, Department of Soil Science and Plant Nutrition, Faculty of
Agricultural, 42031, Konya-Turkey,
fgokmen@selcuk.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8523-1825

Assoc. Prof. Nurhan USLU²

²Selçuk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering,
Konya, Türkiye
nurhanuslu.gmuh@gmail.com
ORCID ID: 0000-0002-1392-8604

Research Assistant Sevde Nur ÇATALTEPE^{3*}

^{3*}Ondokuz Mayıs University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering,
Samsun, Türkiye
sevdenur.cataltepe@omu.edu.tr
ORCID ID: 0009-0005-1570-3301
*Corresponding author

Prof. Dr. Mehmet Musa ÖZCAN²

²Selçuk University, Faculty of Agriculture, Department of Food Engineering,
Konya, Türkiye
mozcan@selcuk.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-5024-9512

ABSTRACT

The highest microelement detected in fish samples was Zn, followed by Mn, Fe, B and Cu in decreasing order. While the Zn contents of sea fish parts are determined between 10.76 (right side flesh) and 295.75 mg/kg (caudal fin), the Zn contents of farmed sea bass parts were determined between 14.80 (right side flesh) and 281.06 mg/kg (caudal fin). The K contents of the parts of both sea bass fish, except for the right and left flank meat, were significantly lower, but the right and left flank meat of the fish contained very low amounts of Ca compared to the other parts. In general, the toxic element assigned in the highest amounts in fish parts was As,

followed by Al, Cr, Ni, Pb, Co, Ba and Cd in decreasing order. The distribution of toxic elements in fish parts was found to be very variable.

Key words: fish; elements; toxic elements; ICP-OES.

1. INTRODUCTION

Fish and their products, which play an important role in food and nutrition security worldwide, constitute an important source of both macro and micro nutrients required for a healthy diet (FAO 2010; FAO 2011; Nazeer et al. 2023). Fish constitute a large portion of the food potential for the human population. In fact, the biochemical compositions and mineral intakes in fish feed show the nutritional values of fish in the diet (Jakhrani et al. 2018; Hosseini et al. 2022). Fish, which is widely consumed by people due to its high taste, low cholesterol and soft meat, contains essential nutrients required for human nutrition (Saduku and Olademeli 1991). In addition, although fish contain various elements that are extremely necessary for human health, some elements threaten human health when consumed. Studies on marine organisms have been more numerous than on land organisms due to the higher concentration of some toxic metals (Hajeb et al. 2014; Baki et al. 2018; Ayanda et al. 2019; Abubakar et al. 2023; Khawar et al. 2024).

Heavy metals accumulated in fish tissues through gills during water or food intake and respiration reflect their levels in water (Annabi et al. 2013; Rajeshkumar and Li 2018; Ayanda et al. 2019). It has been stated that the main factors affecting the extent of toxic element accumulation in fish tissues are species, seabed sediments, food, gender, swimming style, reproductive cycle and water chemistry (Petrović et al. 2013; Adebayo 2017; Rajeshkumar et al. 2018). In addition, aluminum, nickel, cadmium, lead, mercury and chromium, which are commonly found in the aquatic environment as a result of various atmospheric accumulation and industrial activities, pose threats to the life of living things in the aqueous environment (Masood et al. 2014; Alkan et al. 2016; Bilal et al. 2021). It has been reported that long-term consumption of elements that accumulate in high concentrations in fish internal organs such as liver, kidney and spleen may lead to chronic accumulation of toxic elements in the human kidney and liver, cardiovascular, nerve, kidney and bone diseases, and disruption of many biochemical processes (Abubakar et al. 2023). Since fish can directly absorb trace elements from the surrounding waters through their gills and skin, these elements can then accumulate in certain body tissues. The main factors affecting the bioaccumulation rate and amounts of these metals are the type, size, age and nutrition of the fish and the metal concentration in the environment (Chiba et al. 2011; Mehdi-Hosseini et al. 2022; Nazeer et al. 2023).

In addition to posing a serious threat to aquatic creatures and various food chains, the accumulation of large amounts of metals in sea masses poses a health risk to humans of seafood containing such elements (Baki et al. 2018; Tilami and Sampels 2018). The wastes of a wide variety of manufacturing enterprises, especially metallurgy, are directly discharged to the surrounding areas, and these wastewaters contain various organic and inorganic substances along with heavy metals (Silva et al. 2016). Tissues in fishes and crabs of different species and sizes had diverse metal bioaccumulation characteristics, which was significantly affected by environment factors and their living habits (Zhao et al. 2012). Heavy metals, which constitute

an important component of pollution in the aquatic ecosystem, can be absorbed by fish from any sediment or nutrient broth in the water (Zhao et al. 2012; Annabi et al. 2013). It has been reported that the main main factors causing heavy metal pollution in water bodies are domestic wastewater, emissions from automobiles, mining activities, discharge of wastewater from industries, metallurgical activities and agricultural production, and they have serious effects on the diversity of aquatic species (Chinni and Yallapragda 2000; Vosyliene and Jankaite 2006).

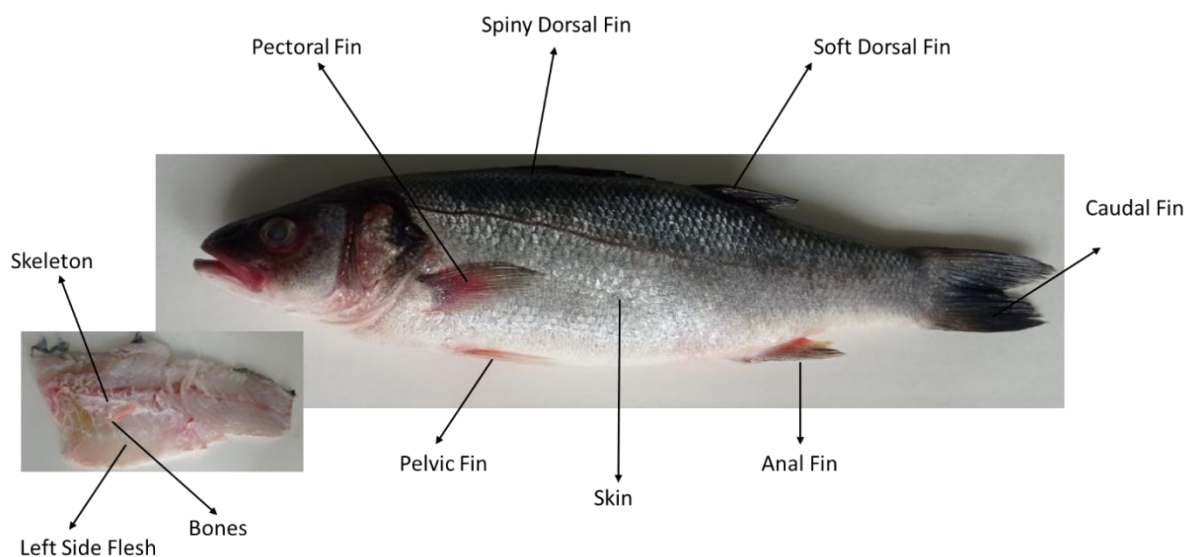
At the same time, although the basic metals iron, copper, zinc and manganese play a biologically important role, these basic elements can have toxic effects at high concentrations (Chiba et al. 2011). Consuming fish containing some trace metals, which play various roles in fish physiology, may also have effects on human nutrition (Shorna et al. 2021; Nazeer et. al. 2023). Since heavy metals accumulate in the food chain and negatively affect the life of organisms, it is important to analyze the effect of heavy metals on different fish organs. Establishing an approximate elemental profile of fish is extremely important to ensure that the fish complies with standards that meet the requirements of food regulations and commercial qualifications (FAO 1983; Annabi et al. 2013). Since fish and fish products that provide a good balance of nutrients are considered a valuable part of the human diet, analysis of both beneficial and harmful elements, such as trace elements in feed, should be an important part of the quality management system of fish farms (Jothi et al. 2017; Islam et al. 2018). The objective of this investigation was to evaluate the macro, microelement and heavy metal contents of different parts of natural and farmed seabass fish sold in Konya city markets.

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Material

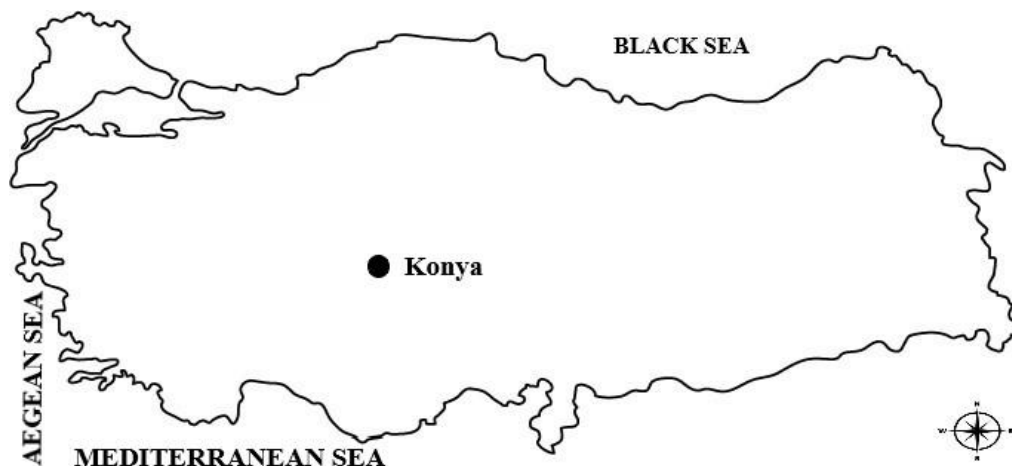
The fish originates from farmed sea bass, which was bred in cages in the Aegean Sea. Natural sea bass is a fish that grows naturally in the Black Sea. The analyzed parts of the fish are shown in Figure 1.

Figure 1. The parts of seabass fish used in this study



These fish, which were brought to Konya from these locations for commercial purposes, were purchased. After fish samples (5 pieces of each fish sample) purchased from a local fish market in Konya were brought in cool bag to the laboratory, scales and internal organs of fish samples were cleaned (Figure 2).

Figure 2. Location where the fish samples used in this study were purchased



2.2. Method

Preparation of fish parts for analysis

Each group of fish was divided into separate parts. Each section was then combined and dried in an oven at 70 °C for 48 hours. Each dried part was crushed in a sample blender and divided equally into 3 groups. Fish samples were prepared for analysis.

Macro-, micro and toxic element contents of seabass fish samples

After 0.5 g fish samples were ingenerated in a microwave device at 210 °C and 200 PSI pressure in 5 ml of concentrated HNO₃ and 2 ml of H₂O₂ (30% w/v), the volumes of the dissolved samples were completed to 20 mL with deionized water. Then, element concentrations in the fish samples were analyzed with ICP-OES (Tošić et al. 2015).

Statistical analysis

The statistical analysis of results obtained was carried out by the JMP statistical program. Statistically differences were determined by the analysis of variance (ANOVA) procedure in all data ($p < 0.01$ and $p < 0.05$) (Savaşlı et al. 2019).

3. RESULTS AND DISCUSSION

Macro- and microelement contents of different parts of seabass fish

Macro- and microelement amounts of different parts of natural and farmed (in-cage) sea bass fish are depicted in Table 1. Differences were detected in the macro and microelement contents of samples belonging to fish farming types and parts. Ca element was the dominant element in fish samples, followed by P, K, and Mg in decreasing order. The highest microelement detected

in fish samples was Zn, followed by Mn, Fe, B and Cu in decreasing order. While Ca quantities of the sea fish parts are assessed between 483.88 (left side flesh) and 1625085.20 mg/kg (caudal fin), the Ca contents of the parts of the sea bass grown in the sea farm (in the cage) were determined between 555.84 (left side flesh) and 207622.31 mg/kg (pelvic fin). P contents of natural and farmed sea bass are 21451.74 (skin) and 62904.59 mg/kg (caudal fin) to 7602.34 (right side flesh) and 73471.94 mg/kg (caudal fin), respectively. While the K contents of the parts of both fish samples were close to each other, the K contents of the right and left side meats of the fish were found to be quite high. The K contents of the right and left flank meat of sea bass were determined as 14545 and 14682.37 mg/kg. While the Zn contents of sea fish parts are determined between 10.76 (right side flesh) and 295.75 mg/kg (caudal fin), the Zn contents of farmed sea bass parts were determined between 14.80 (right side flesh) and 281.06 mg/kg (caudal fin). Mn amounts of sea and çiftlik “seabass” parts were assessed to be between 0.771 (right side flesh) and 23.90 mg/kg (caudal fin) to 0.741 (right side flesh) and 37.97 mg/kg (anal fin), respectively. In addition, Fe amounts of “seabass” parts were established to be between 7.71 (right side flesh) and 25.43 mg/kg (pectoral fin) to 10.45 (caudal fin) and 34.48 mg/kg (bones), respectively.

Toxic element contents of different parts of seabass fish

Toxic element amounts of different parts of natural and farmed marine fish are presented in Table 2. Differences were observed in the amounts of toxic elements according to fish farming type and parts. In general, the toxic element assessed in the highest amounts in fish parts was As, followed by Al, Cr, Ni, Pb, Co, Ba and Cd in decreasing order. Arsenic (As) quantities of the parts of sea and farmer “seabass” fishes were assessed to be between 14.46 (caudal fin) and 53.88 mg/kg (spiny dorsal fin) to 26.86 (soft dorsal fin) and 75.22 mg/kg (skeleton), respectively. In addition, while Al amounts of the parts of the “seabass” fish are assigned between 5.29 (pectoral fin) and 55.26 mg/kg (soft dorsal fin), Al quantities of the parts of the farmer “seabass” fish were established to be between 4.35 (bones) and 60.69 mg/kg (spiny dorsal fin). Lead (Pb) quantities of the parts of sea “seabass” and farmer “seabass” fished were altered to be between 1.75 (skin) and 16.32 mg/kg (right side flesh) to 0.75 (caudal fin) and 26.64 mg/kg (skin), respectively. Also, while Cr amounts of the parts of seabass fish vary between 5.82 (right side flesh) to 25.04 mg/kg (bones), Cr contents of the parts of sea farm “seabass” fish were depicted to be between 5.21 (right side flesh) and 34.89 mg/kg (anal fin). The lowest Ni was detected in the right side meat of both fish. The Ni content of the left flank meat of sea bass (17.18 mg/kg) was found to be approximately 11 times higher than that of farmed sea bass (1.56 mg/kg).

P and Ca contents of farmed sea bass were generally higher than natural sea bass. P contents of the caudal fin part of both seabass fish were found to be at the highest levels. In general, it has been observed that the caudal fin, pectoral fin and bones parts of fish are rich in phosphorus. The K contents of the parts of both sea bass fish, except for the right and left flank meat, were significantly lower, but the right and left flank meat of the fish contained very low amounts of Ca compared to the other parts. In addition, the right side meat parts of both fish contained lower amounts of Fe (except farmed sea bass), Zn, Mn and B compared to the other parts. In general, the Fe, Zn, Cu, Mn and B contents of farmed sea bass were higher than those

of natural sea bass. This may be due to the composition of the feed used in fish feeding, the packaging and storage of the feed. In both fish, the highest and lowest Zn amounts were detected in the caudal fin and right side flesh parts, respectively. Additionally, Cu contents of fish samples were detected at very low levels. The highest copper (Cu) was found in the right flank meat of farmed sea bass (4.51 mg/kg) and was approximately 2.4 times higher than that of sea bass. In addition, the B contents of the right and left side meats of fish were found to be at low levels compared to other parts. In general, toxic element contents of farmed sea bass were higher than those of sea bass (except Al and Ni). The distribution of toxic elements in fish parts was found to be very variable. However, toxic element contents of both sea bass parts were found to be above normal values. This may be due to the composition of the feed used, as well as the contamination of the flora in which they grow, by water contaminated with heavy metals, industrial wastes and maritime waste.

In a previous study, the concentrations of K in the organs of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* were detected between 2939.7 and 13424 mg/kg to 4073 and 15534 mg/kg, respectively. The element found in the highest amounts in both fish was K, followed by Ca. In both fish, the highest and lowest accumulation was recorded in tissue and bone, respectively (Abubakar et al. 2023). K deficiency, an important mineral needed by all tissues in the body, causes hypokalemia, and excessive K intake can adversely lead to kidney disease. According to the WHO guideline, the maximum K intake is 50.1 mg/kg (Widmaier et al. 2008). The bone, flesh and skin parts of mackerel fish contained 0.9, 0.12 and 0.6 % Ca, 3.01, 1.11 and 0.09 %P, 0.0025, 0.0072 and 0.0043 Fe, 0.0006, 0.0005 and 0.0001 Mn, 0.006, 0.0099 and 0.0058 Zn, 0.0002, 0.0010 and 0.0001% Cu (Makanjuola, 2012). Fe contents of the organs of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* were determined between 67.56 and 369.1 mg/kg (to 113.4 to 1709.5 mg/kg). In *Oreochromis niloticus* organs, the highest and lowest Fe were observed in liver and bone, while in *Clarias gariepinus* organs, the highest and lowest Fe were detected in liver and tissue, respectively (Abubakar et al. 2023). While the amounts of Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd, Cr in *Catlacatla* are established as 2.4-1.1, 3.5-1.2, 18-9, 0.54-0.12, 0.98-0.18, 0.09-0.02, 0.06µg/g-0.01µg/g, the quantities of Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd, Cr of *Cirrhinus mrigala* were established as 2.4-1.2, 3.4-0.4, 17.5-11.3, 0.68-0.15, 0.95-0.47, 0.054-0.011, 0.067-0.012µg/g. In addition, the amounts of Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd, Cr of *Labeorohita* were altered to be between 3.4-1.0, 3.2-1.2, 18-10, 0.87-0.10, 0.94-0.11, 0.078-0.012, 0.068-0.022µg/g, respectively (Jakhrani et al. 2018). The Zn contents of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* ranged from 27.47 and 132.51 mg/kg to (35.8 to 428.5 mg/kg). In *Oreochromis niloticus*, the highest and lowest Zn were detected in the liver and tissue, while in *Clarias gariepinus*, the highest and lowest Zn were detected in the liver and tissue (Abubakar et al. 2023). The maximum intake dose for Zn determined by WHO/FAO is defined as 40 mg/kg (WHO/FAO 1989). In a study on fish (*Oreochromis niloticus*), it was found that the highest and lowest Mn contents were observed in the gills (735.84 mg/kg) and liver (715.29 mg/kg), respectively (Ayanda et al. 2019). In addition, in the same study, the highest Pb content of *Oreochromis niloticus* was detected in the gills (15.50 mg/kg (Ayanda et al., 2019). The copper content of *Oreochromis niloticus* fish varied between 1.14 and 163.59 mg/kg, and it was reported that the highest concentration was detected in the liver and the lowest concentration in the bone. Besides, the Cu content of *Clarias gariepinus* varies between 2.11 and 106.75 mg/kg

(Abubakar et al. 2023). The permissible Cu intake limit for Cu by WHO/FAO is 30 mg/kg. Manganese contents of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* were found to be between 9.16 and 18.85 mg/kg to 5.63 to 16.19 mg/kg, respectively, and the highest and lowest accumulation in both fishes were observed in the liver and tissue, respectively (Abubakar et al. 2023). In another study, Abubakar et al. (2023) reported that Magnesium concentrations in the organs of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* varied between 171.5 and 265 mg/kg to 184.4 and 260.4 mg/kg, respectively. In both fish in this study, the highest and lowest Mg concentrations were detected in the tissue and gill, respectively (Abubakar et al. 2023). Although, according to FNB recommendations, the tolerable upper Mg intake is 5 mg/kg (Joseph 2015), Mg concentrations in all parts of fish examined exceed the permissible limit. Several studies have been conducted showing similar Cu levels in fish and other seafood in different locations (Mendil et al. 2010; Alkan et al. 2016; Silva et al. 2016). Although copper is essential in metabolic processes, it is also a major environmental pollutant (Hauser-Davis et al. 2014). The maximum guideline for Zn stipulated by WHO/FAO is 40 mg/kg (WHO/FAO, 1989). Chromium concentrations of *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* ranged from 0.19 and 1.34 mg/kg to 0.67 and 1.86 mg/kg, respectively. In *Oreochromis niloticus* fish, the highest and lowest Cr were detected in the gills and bones, while in *Clarias gariepinus* fish, the highest and lowest Cr were detected in the gills and liver, respectively (Abubakar et al. 2023). In a previous study, ten elements (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Se, Sr, V and Zn) were determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometry in the muscle tissues of 13 fish species from Aratu Bay, Bahia, Brazil. 0.03-0.8 Cr in muscle tissues of fish; 2.0-33.7 Cu, 2.4-135.1 Fe, 1.6-25.6 Se; 1.6-35.1Sr; and Z 2.8-40.5 µg/g Zn was detected. Among these fish samples, *Diaptereus rhombeus* (carapeba) species was reported to have the highest Se, Cu and Fe concentrations (Silva et al. 2016). Toxic and essential element contents (Hg, Ar, Pb, Cd, NiFe, Cu, Mn, Zn, Se and Cr) of 10 different fish species living in the Black Sea were determined by atomic absorption spectrometry after microwave digestion method and the results were 25–84 µg/kg. 0.11–0.32 µg/g, 0.28–0.87 µg/g, 0.10–0.35 µg/g, 1.14–3.60 µg/g, 36.2–145 µg/g, 0.65–2.78 µg/g, 2.76–9.10 µg/gf was determined as 38.8–93.4 µg/g, 0.19–0.85 µg/g and 0.63–1.74 µg/g, respectively (Tüzen 2009). The lead content in the literature is in the range of 0.09–6.95 lg/g dry weight in fish species in Iskenderun Bay, North Eastern Mediterranean, Turkey (Türkmen et al. 2005), and it has been reported to be in the range 0.33–0.86 lg/g in seafood. The maximum lead level permitted for sea fishes is 0.3 mg/kg according to Turkish. Food Codex (Anonymous 2008). The maximum lead level permitted is 2.0 mg/kg for WHO (1996), 0.5 mg/kg for FAO (1983). Trace metals, found in very small concentrations in the environment, are absorbed by fish and play important roles in various physiological functions. However, these metals are called 'toxic metals' due to their harmful effects if they exceed the dose limits determined by WHO/FAO (Khawar et al. 2024). It was revealed that fish bioaccumulate waterborne heavy metals by taking them through their gills, skin and digestive systems (Shorne et al. 2021; Mehdi-Hosseini et al. 2022; Nazeer et al. 2023). Zinc, a trace element necessary to participate in the metabolism of carbohydrates, lipids, proteins and nucleic acids in biological systems, is abundant in fish and also stimulates the activity of many enzymes. Excess zinc in the diet can cause toxic effects on the immune system, reduce the

stimulation responses of lymphocytes and cause changes in cholesterol metabolism, causing a decrease in HDL levels in healthy people (Goldhaber 2003).

Conclusion

Differences were detected in the macro and microelement contents of samples belonging to fish farming types and parts. The K contents of the parts of both sea bass fish, except for the right and left flank meat, were significantly lower, but the right and left flank meat of the fish contained very low amounts of Ca compared to the other parts. The highest microelement detected in fish samples was Zn, followed by Mn, Fe, B and Cu in decreasing order. The right side meat parts of both fish contained lower amounts of Fe (except farmed sea bass), Zn, Mn and B compared to the other parts. In general, the Fe, Zn, Cu, Mn and B contents of farmed sea bass were higher than those of natural sea bass. In both fish, the highest and lowest Zn amounts were detected in the caudal fin and right side flesh parts, respectively. Additionally, Cu contents of fish samples were detected at very low levels. The highest copper (Cu) was found in the right flank meat of farmed sea bass (4.51 mg/kg) and was approximately 2.4 times higher than that of sea bass. In general, toxic element contents of farmed sea bass were higher than those of sea bass (except Al and Ni). The distribution of toxic elements in fish parts was found to be very variable. However, toxic element contents of both sea bass parts were found to be above normal values. In conclusion, the fact that there are differences in metal accumulation at varying levels between fish parts emphasizes the complexity of metal accumulation processes in fish.

REFERENCES

- Abubakar, I., Joseph, E., & Aliyu, H. M. (2023). Analysis of elements in organs of some fish species from Zobe Dam, Katsina State, using energy dispersive X-ray fluorescence techniques. *Iconic Research Engineering Journal*, 6(11), 1280–1293.
- Adebayo, I. (2017). Determination of heavy metals in water, fish and sediment from Ureje Water Reservoir. *Fisheries and Oceanography Open Access Journal*, 4(1), 1–5. <https://doi.org/10.19080/OFOAJ.2017.04.555630>
- Alkan, N., Alkan, A., Gedik, K., & Fisher, A. (2016). Assessment of metal concentrations in commercially important fish species in Black Sea. *Toxicology and Industrial Health*, 32(3), 447–456. <https://doi.org/10.1177/0748233713500821>
- Annabi, A., Said, K., & Messaoudi, I. (2013). Cadmium: Bioaccumulation, histopathology and detoxifying mechanisms in fish. *American Journal of Research Communication*, 1(4), 60–79.
- Ayanda, I. O., Ekhtator, U. I., & Bello, O. A. (2019). Determination of selected heavy metal and analysis of proximate composition in some fish species from Ogun River, Southwestern Nigeria. *Heliyon*, 5(10), Article e02512. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02512>
- Baki, M. A., Hossain, M. M., Akter, J., Quraishi, S. B., Shojib, M. F., Ullah, A. A., & Khan, M. F. (2018). Concentration of heavy metals in seafood (fishes, shrimp, lobster and crabs) and human health assessment in Saint Martin Island, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 159, 153–163. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.035>
- Bilal, M., Ali, H., Ahmad, A., Khan, F., & Bashir, K. (2021). Effects of heavy metal Cd on essential metal Zn levels in freshwater fish *Channa gachua*. *International Journal of Aqua Science*, 12(3), 687–698.
- Chiba, W. A. C., Passerini, M. D., & Tundisi, J. G. (2011). Metal contamination in benthic macroinvertebrates in a sub-basin in the southeast of Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 71(2), 391–399. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842011000300010>
- Chinni, S., & Yallapragda, R. (2000). Toxicity of copper, cadmium, zinc and lead to *Penaeus indicus* postlarvae: Effects of individual metals. *Journal of Environmental Biology*, 21, 255–258.
- Food and Agriculture Organization. (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products (FAO Fisheries Circular No. 464, pp. 5–10). Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Food and Agriculture Organization. (2010). The state of world fisheries and aquaculture. FAO. <https://www.fao.org/in-action/globefish/fishery-information/resource-detail/en/c/338772/>

- Goldhaber, S. B. (2003). Trace element risk assessment: Essentiality vs. toxicity. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 38(2), 232–242. [https://doi.org/10.1016/S0273-2300\(03\)00092-2](https://doi.org/10.1016/S0273-2300(03)00092-2)
- Hajeb, P., Sloth, J. J., Shakibazadeh, S., Mahyudin, N. A., & Afsah-Hejri, L. (2014). Toxic elements in food: Occurrence, binding, and reduction approaches. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 457–472. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12068>
- Hauser-Davis, R. A., Bastos, F. F., Tuton, B., Chavez Rocha, R., Saint' Pierre, T., Ziolli, R. L., & Arruda, M. A. (2014). Bile and liver metallothionein behavior in copper-exposed fish. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 28(1), 70–74. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2013.09.006>
- Hosseini, S. M., Vajdi, R., Rad, S. F. M., Behroo, R. D., Chamanara, V., & Hosseini, S. V. (2022). Risk assessment of trace elements bioaccumulated in golden gray mullet (*Liza aurata*) harvested from the southern Caspian Sea. *Journal of Great Lakes Research*, 48(4), 1079–1086. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2022.05.014>
- Islam, M., Shoeb, M., Islam, R., & Nahar, N. (2018). Heavy metals contamination in marine fish samples of Bangladesh. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, 6(1), 4–11. <https://doi.org/10.11648/j.jfns.20180601.12>
- Jakhrani, S. A., Ujjan, J. A., Jakhrani, M. A., Atoi, W. B., Dayo, F. Z., & Mazari, M. Q. (2018). Elemental assessment of trace and toxic heavy metals in different parts of three economically important fish species captured from ponds of Kashmore, Sindh, Pakistan. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(5), 138–144.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. (2011). Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventy-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (WHO Technical Report Series No. 966). World Health Organization.
- Joseph, E. (2015). Application of K0–Instrumental neutron activation analysis technique in the characterization of soil at central area of Katsina State [Doctoral dissertation/Master's thesis]. Ahmadu Bello University.
- Jothi, J., Yeasmin, N., Anka, I., & Hashem, S. (2017). Chromium and lead contamination in commercial poultry feeds of Bangladesh. *International Journal of Agricultural Research, Innovation and Technology*, 6(2), 57–60. <https://doi.org/10.3329/ijarit.v6i2.31707>
- Khawar, M., Masood, Z., Ul Hasan, H., Khan, W., De los Ríos-Escalante, P. R., Aldamigh, M. A., Al-Sowayan, N. S., Razzaq, W., Ta Khan, T., & Said, M. B. (2024). Trace metals and nutrient analysis of marine fish species from the Gwadar coast. *Scientific Reports*, 14, Article 6448. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56667-1>
- Makanjuola, O. M. (2012). Chemical analysis of flesh and some body parts of different fresh fish in South West Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(1), 14–15.

- Masood, Z., Khan, A. U., Firdous, N., & Muntaha, S. H. (2014). Heavy metals detection of a Carp species, *Barilius bendelisis* (family cyprinidae) collected from the Shnebaye stream of District Karak, Khyber Pakhtumkhwa Province, Pakistan. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 28(2), 216–219.
- Mendil, D., Demirci, Z., Tüzen, M., & Soylak, M. (2010). Seasonal investigation of trace element contents in commercially valuable fish species from the Black Sea, Turkey. *Food and Chemical Toxicology*, 48(3), 865–870. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.12.023>
- Nazeer, N., Masood, Z., Said, M. B., Khan, T., Ullah, A., Ali, W., & Swelum, A. A. (2023). Impacts of some trace metals in *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) and *Tor soro* (Valenciennes, 1842) on human health. *Biological Trace Element Research*, 202, 1761–1772. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03852-4>
- Petrović, Z., Teodorović, V., Dimitrijević, M., Borozan, S., Beuković, M., & Milićević, D. (2013). Environmental Cd and Zn concentrations in liver and kidney of European hare from different Serbian regions: Age and tissue differences. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 90(2), 203–207. <https://doi.org/10.1007/s00128-012-0896-3>
- Rajeshkumar, S., & Li, X. (2018). Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, 5, 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.01.007>
- Savaşlı, E., Önder, O., Karaduman, Y., Dayıoğlu, R., Özen, D., Özdemir, S., Akın, A., Tunca, Z. S., Demir, B., & Aydın, N. (2019). The effect of soil and foliar urea application at heading stage on grain yield and quality traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 7(7), 1928–1936. <https://doi.org/10.31590/ejosat.638421>
- Shorna, S., Shawkat, S., Hossain, A., Quraishi, S. B., Atique Ullah, A. K. M., Hosen, M. M., Hossain, M. D. K., Saha, B., Paul, B., & Habibullah-Al-Mamun, M. (2021). Accumulation of trace metals in indigenous fish species from the old Brahmaputra river in Bangladesh and human health risk implications. *Biological Trace Element Research*, 199(9), 3478–3488. <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02446-2>
- Silva, E., Viana, Z. C. V., Souza, N. F. A., Korn, M. G. A., & Santos, V. L. C. S. (2016). Assessment of essential elements and chemical contaminants in thirteen fish species from the Bay Aratu, Bahia, Brasil. *Brazilian Journal of Biology*, 76(4), 871–877. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.03415>
- Tilami, S., & Sampels, S. (2018). Nutritional value of fish: Lipids, proteins, vitamins, and minerals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(2), 243–253. <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1399104>
- Tošić, S. B., Mitic, S. S., Velimirovic, D. S., Stojanovic, G. S., Pavlovic, A. N., & Pecev-Marinkovic, E. T. (2015). Elemental composition of edible nuts: Fast optimization and

validation procedure of an ICP-OES method. Journal the Science of Food and Agriculture, 95(11), 2271–2278. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6946>

Türkmen, A., Türkmen, M., Tepe, Y., & Akyurt, I. (2005). Heavy metals in three commercially valuable fish species from Iskenderun Bay, Northern East Mediterranean Sea, Turkey. Food Chemistry, 91(1), 167–172. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.08.008>

Tüzen, M. (2009). Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. Food and Chemical Toxicology, 47(8), 1785–1790. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.04.029>

Vosyliene, M. Z., & Jankaite, A. (2006). Effect of heavy metal model mixture on rainbow trout biological parameters. Ekologija, 4, 12–17.

WHO/FAO. (1989). National Research Council recommended dietary allowances (10th ed.). National Academy Press.

Widmaier, E. P., Raff, H., & Strang, K. T. (2008). Vander's human physiology: The mechanisms of body function (11th ed.). McGraw-Hill Higher Education.

World Health Organization. (1996). Guidelines for drinking-water quality: Vol. 2. Health criteria and other supporting information (2nd ed., pp. 31–388). World Health Organization.

Zhao, S., Feng, C., Quan, W., Chen, X., Niu, J., & Shen, Z. (2012). Role of living environments in the accumulation characteristics of heavy metals in fishes and crabs in the Yangtze River Estuary, China. Marine Pollution Bulletin, 64(6), 1163–1171. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.03.023>

Table 1. Macro- and microelement contents of different parts of sea and sea farmed (in-cage) sea bass fish

Fish parts	P			K		
	(mg kg ⁻¹)					
	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean
Pelvic fin	56749.50	57139.21	56944.36 A	2568.73	3714.78	3141.76 b
Caudal fin	62904.59	73471.94	68188.27 A	3170.19	4685.42	3927.81 b

Soft dorsal fin	61577.32	54654.21	58115.77 A	3616.64	2166.45	2891.54 b
Skin	21451.74	18717.96	20084.85 B	2439.89	6529.96	4484.93 b
Anal fin	28744.32	66649.18	47696.75 A	3589.76	3925.74	3757.75 b
Spiny dorsal fin	55177.67	46814.26	51009.46 A	2884.21	3865.03	3374.62 b
Pectoral fin	58296.84	74651.98	66474.41 A	4182.69	4456.13	4319.41 b
Skeleton	56274.26	60725.14	58499.70 A	4423.10	5561.16	4992.13 b
Bones	58617.86	73078.30	65848.08 A	5040.71	5616.06	5328.39 b
Right side flesh	8656.87	7602.34	8129.61	62596.01	14545.12	38570.56 a
Left side flesh	10453.77	10435.34	10444.55	19534.53	14682.37	17108.45 b
Mean	43536.80	49451.53		10367.86	6340.75	

Fish parts	Ca			Mg		
	(mg kg ⁻¹)					
	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean
Pelvic fin	145307.98	207622.31	176465.15 A	2601.45	2828.07	2714.76d
Caudal fin	162585.20	178914.83	170724.02 AB	2265.52	3619.32	2942.42c
Soft dorsal fin	63083.85	143034.38	103044.11 AB	1255.77	1764.32	1510.04ı
Skin	47330.51	142069.14	94699.82 B	667.19	1416.24	1041.72i
Anal fin	185182.46	167585.39	176383.92 A	1386.31	3073.60	2229.96ef
Spiny dorsal fin	146173.12	124842.35	135507.73 AB	1892.26	2016.57	1954.42g
Pectoral fin	158073.75	182531.05	170302.40 AB	10979.64	3198.62	7089.13a
Skeleton	125085.02	150317.29	137701.16 AB	1666.05	1858.64	1762.34h
Bones	145760.02	178124.13	161942.07 AB	2043.04	2496.41	2269.72e
Right side flesh	562.02	660.23	611.13 C	1417.74	862.81	1140.28
Left side flesh	483.88	555.84	519.86 C	1205.69	6102.82	3654.26b
Mean	107238.89 b	134205.18a		2489.15	1657.95	

ab; p<0.05, A,B; p<0.01

Table 1. (continued)

Fish parts	Fe			Zn			Cu		
	(mg kg ⁻¹)								
	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean
Pelvic fin	19.18 DE	17.19 D-H	18.18 CDE	55.64 HI	84.15 FG	69.89 D	1.70 I	1.86 GH	1.78 F
Caudal fin	14.07 HIJ	10.45 KL	12.26 H	295.75 A	281.06 A	288.41 A	1.72 HI	1.74 HI	1.73 F
Soft dorsal fin	14.44 G-J	24.59 B	19.52 BC	174.26 C	171.93 C	173.10 B	0.74 M	1.48 J	1.11 I

Skin	16.94 E-H	15.83 F-I	16.38 EFG	49.67 I	40.13 IJK	44.90 EF	0.99 KL	1.52 J	1.25 H
Anal fin	10.46 KL	24.54 B	17.50 C-F	44.03 I	160.52 C	102.27 C	1.70 I	2.61 E	2.15 E
Spiny dorsal fin	23.48 BC	17.72 F-J	19.10 BCD	152.81 CD	209.99 B	181.40 B	0.96 L	1.96 G	1.46 G
Pectoral fin	25.43 B	16.48 E-I	20.96 B	103.86 EF	125.83 DE	114.84 C	2.90 D	2.41 F	2.65 C
Skeleton	12.47 JK	17.61 D-G	15.04 G	39.66 IJK	55.64 HI	47.65 E	1.15 K	3.44 C	2.29 D
Bones	20.31 CD	34.48 A	27.40 A	59.67 GHI	80.34 FGH	70.01 D	3.71 B	3.62 B	3.67 A
Right side flesh	7.71 L	26.55 B	17.13 D-G	10.76 L	14.80 JKL	12.78 G	1.81 GHI	4.51 A	3.16 B
Left side flesh	18.84 DEF	13.54 IJK	15.69 FG	13.33 KL	41.83 IJ	27.58 FG	0.86 LM	1.93 G	1.40 G
Mean	16.58 B	19.63 A		90.86 B	115.11 A		1.66 B	2.46 A	

Fish parts	Mn			B		
	(mg kg ⁻¹)					
	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean
Pelvic fin	15.37 F	29.21 C	22.29 D	14.73 C	15.09 AB	14.91 A
Caudal fin	23.90 D	36.04 AB	27.94 A	10.64 C	16.62 A	13.63 B
Soft dorsal fin	9.87 G	23.77 D	16.82 F	5.50 EFG	7.42 D	6.46 D
Skin	2.57 HI	5.20 H	3.88 G	2.60 HI	5.25 FG	3.92 E
Anal fin	10.47 G	37.97 A	24.22 CD	6.09 DEF	16.51 AB	11.21 C
Spiny dorsal fin	14.84 F	24.40 D	16.62 E	10.02 C	11.04 C	10.53 C
Pectoral fin	22.03 D	33.84 B	27.94 AB	11.41 C	15.01 AB	13.21 B
Skeleton	15.91 EF	28.64 C	22.28 D	3.42 HI	4.31 GH	3.86 E
Bones	18.65 E	33.75 B	26.20 BC	5.47 EFG	7.20 DE	6.34 D
Right side flesh	0.77 I	0.74 I	0.76 H	2.27 HI	2.37 I	2.52 F
Left side flesh	9.96 G	0.95 I	5.45 G	1.83 I	2.94 HI	2.38 F
Mean	12.30 B	23.96 A		6.76 B	9.40 A	

A,B; p<0.01

Table 2. Toxic element contents of different parts of natural (sea) and sea farmed (in-cage) sea bass fish

Fish parts	Al			As			Ba			Cd		
	----- (mg/ kg) -----											
	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean
Pelvic fin	45.65 C	9.50 HI	27.57 C	44.16 EFG	27.84 L	36.00 E	1.62 FGH	2.79 B	2.21 B	1.22 E-I	1.72 ABC	1.47 ABC
Caudal fin	19.8 FG	8.78 HI	14.08 F	14.46 ML	47.15 DE	30.81 F	3.43 A	3.43 A	3.43 A	1.41 D-G	1.67 F-I	1.29 CD

Soft dorsal fin	55.26 B	55.05 B	55.15 A	26.44 L	26.86 L	26.65 G	1.52 H	1.84 DE	1.68 D	1.07 I	1.45 C-F	1.26 D
Skin	6.56 IJ	8.67 I	7.62 H	32.75 JK	41.41 GH	37.08 DE	0.99 I	1.80 DEF	1.40 E	1.14 GHI	0.38 JK	0.76 E
Anal fin	16.24 G	22.40 F	19.32 E	43.37 FG	74.29 A	58.83 A	1.69 E-H	2.66 B	2.17 B	1.37 D-H	1.91 A	1.64 A
Spiny dorsal fin	17.76 G	60.69 A	39.22 B	53.88 C	51.94 C	52.91 B	1.92 D	1.93 D	1.92 C	1.62 A-D	1.19 F-I	1.40 BCD
Pectoral fin	5.29 J	6.69 IJ	5.66 H	36.06 IJ	36.06 IJ	39.50 D	1.89 DE	2.37 C	2.13 B	1.58 BCD	1.60 BCD	1.59 AB
Skeleton	1738 G	32.29 E	24.83 D	38.94 HI	75.22 A	57.08 A	0.94 I	1.75 D-G	1.34 E	1.08 HI	1.78 AB	1.43 A-D
Bones	17.51 G	4.35 J	10.93 G	47.92 D	57.57 B	52.75 B	1.57 GH	2.73 B	2.15 B	1.33 D-I	1.33 D-I	1.33 CD
Right side flesh	35.84 D	12.06 H	23.95 D	45.14 DEF	45.16 DEF	45.56 C	0.85 I	0.33 J	0.59 F	0.65 J	0.26 K	0.45 F
Left side flesh	6.18 IJ	6.25 IJ	6.22 H	29.70 KL	35.42 J	32.56 F	0.43 J	0.99 I	0.71 F	0.22 K	1.52 B-E	0.87 E
Mean	22.10 a	20.61 b		37.61 B	47.80 A		1.53 B	2.06 A		1.15 B	1.30 A	

Fish parts	Co			Cr			Ni			Pb		
	----- (mg /kg) -----											
	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean	Sea	Sea Farm	Mean
Pelvic fin	1.64 D	2.34 C	1.99 V	24.41 C-F	33.14 AB	28.78 A	20.42 B	12.83 DE	16.62 B	3.94 J	10.28 E	7.11 F
Caudal fin	1.57 DE	3.45 A	2.51 A	23.43 D-G	25.35 CD	24.39 CDE	12.56 DE	9.36 F-I	10.96 CD	8.57 FG	0.75 L	4.66 G
Soft dorsal fin	2.49 C	1.27 F	1.88 C	24.35 C-F	21.65 EFG	22.99 DEF	8.35 HGI	9.27 F-I	8.81 E	8.46 FG	2.13 K	5.30 G
Skin	0.47 HIJ	1.44 DEF	0.96 E	17.32 GH	20.50 GH	18.91 G	19.93 B	20.02 B	19.97 A	1.75 KL	26.64 A	14.19 B
Anal fin	2.53 C	2.82 B	2.54 A	15.00 I	34.89 A	24.95 CD	10.73 EFG	5.52 J	8.13 E	9.45 EF	4.91 IJ	7.18 F
Spiny dorsal fin	0.41 IJ	0.69 GH	0.55 G	21.05 FG	21.56 EFG	21.30 FG	28.52 A	11.51 EF	20.01 A	9.45 EF	16.33 B	12.33 C
Pectoral fin	0.35 IJ	2.39 C	1.37 D	24.54 CDE	30.63 B	27.58 AB	14.36 D	5.48 J	9.92 DE	14.53 C	8.32 G	8.11 E
Skeleton	0.90 G	0.49 HI	0.70 FG	19.97 GH	24.99 CDE	22.48 EF	11.22 EF	7.82 HIJ	9.52 DE	4.75 J	2.20 K	3.48 H
Bones	1.35 EF	3.27 A	2.31 B	25.04 CDE	27.01 C	26.02 BC	14.28 D	10.43 E-H	12.36 C	6.57 H	12.69 D	9.63 D
Right side flesh	1.50 DEF	0.20 J	0.85 EF	5.82 J	5.21 J	5.51 H	7.46 IJ	5.23 J	4.51 F	16.32 B	14.65 C	15.49 A
Left side flesh	0.95 G	0.36 IJ	0.65 G	23.19 D-G	25.42 CD	24.30 CDE	17.18 C	1.56 K	11.20 CD	14.01 C	5.78 HI	9.89 D
Mean	1.26 B	1.70 A		20.37 B	24.58 A		14.99 A	9.00 B		8.21 B	9.49 A	

A,B; p<0.01

**ANALYSIS OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN KERNEL BIOMETRIC
PROPERTIES AND BLANCHING RATES IN ‘ÇAKILDAK’ AND ‘FOŞA’
HAZELNUT CULTIVARS: CORRELATION AND PRINCIPAL COMPONENT
APPROACH**

Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN

Ordu University Faculty of Agriculture, Department of Horticulture

Cumhuriyet Campus, 52200, Altınordu, Ordu, TÜRKİYE

szbostan@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-6398-1916

ABSTRACT

This study aimed to determine the relationships between kernel biometric characteristics and blanching performance in the economically important Turkish hazelnut cultivars 'Çakıldak' and 'Foşa'. The relationships among shape index, compression index, aspect ratio, elongation index, arithmetic mean diameter, geometric mean diameter, sphericity, surface area, volume, complete blanching rate, and average blanching rate were investigated using correlation analysis and principal component analysis (PCA). Descriptive statistics revealed that the 'Çakıldak' cultivar possessed larger, more voluminous, and more elongated kernels, whereas the 'Foşa' cultivar exhibited a more spherical, homogeneous kernel structure and superior blanching performance. The complete blanching and average blanching rates were determined to be 69.97% and 83.53% in the 'Çakıldak' cultivar, and 88.89% and 95.63% in the 'Foşa' cultivar, respectively. Correlation analysis indicated that significant relationships between blanching characteristics and biometric parameters were observed only in the 'Çakıldak' cultivar, where sphericity and surface area showed significant positive correlations with blanching rates. According to the principal component analysis results, the first three principal components explained 91.82% and 88.16% of the total variation in the 'Çakıldak' and 'Foşa' cultivars, respectively. In both cultivars, blanching characteristics formed a variation group that was largely independent of the biometric traits. In conclusion, the relationships between kernel biometric characteristics and blanching performance were found to be cultivar-dependent, and particularly in the 'Çakıldak' cultivar, sphericity and surface area may be considered indirect indicators of blanching performance.

Keywords: *Corylus avellana*, Kernel, Pellicle removal, Physical, Geometric parameter

‘ÇAKILDAK’ VE ‘FOŞA’ FINDIK ÇEŞİTLERİNDE İÇ MEYVE BİYOMETRİK ÖZELLİKLERİ İLE BEYAZLAMA ORANLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ANALİZİ: KORELASYON VE TEMEL BİLEŞEN YAKLAŞIMI

ÖZET

Bu araştırmada, Türkiye'nin önemli ticari fındık çeşitlerinden 'Çakıldak' ve 'Foşa' fındıklarında iç meyve biyometrik özellikleri ile beyazlama performansı arasındaki ilişkilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırmada şekil indeksi, basıklık indeksi, en-boy oranı, uzama indeksi, aritmetik ortalama çap, geometrik ortalama çap, küresellik, yüzey alanı ve hacim parametreleri ile tam beyazlama oranı ve ortalama beyazlama oranı arasındaki ilişkiler korelasyon ve temel bileşen analizi (TBA) yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Tanımlayıcı istatistikler, 'Çakıldak' çeşidinin daha iri, daha hacimli ve daha uzun yapılı iç meyvelere sahip olduğunu, 'Foşa' çeşidinin ise daha küresel, daha homojen ve daha yüksek beyazlama performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Tam beyazlama oranı ve ortalama beyazlama oranları sırasıyla 'Çakıldak' çeşidinde %69.97 ve %83.53, 'Foşa' çeşidinde ise %88.89 ve %95.63 olarak belirlenmiştir. Korelasyon analiziyle beyazlama özellikleri ile biyometrik parametreler arasındaki anlamlı ilişkiler yalnızca 'Çakıldak' çeşidinde belirlenmiş olup küresellik ve yüzey alanı ile beyazlama oranları arasında pozitif ve önemli korelasyonlar bulunmuştur. Temel bileşen analizi sonuçlarına göre, ilk üç temel bileşen 'Çakıldak' ve 'Foşa' çeşitlerinde toplam varyasyonun sırasıyla %91.82 ve %88.16'sını açıklamıştır. Her iki çeşitte de beyazlama özelliklerinin biyometrik özelliklerden büyük ölçüde bağımsız bir varyasyon grubu oluşturduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, iç meyve biyometrik özellikleri ile beyazlama performansı arasındaki ilişkilerin çeşide bağlı olarak değiştiği, özellikle 'Çakıldak' çeşidinde küresellik ve yüzey alanının beyazlama performansının dolaylı göstergeleri olarak değerlendirilebileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: *Corylus avellana*, İç fındık, Zar atma, Fiziksel, Geometrik parametre

1. INTRODUCTION

Global hazelnut production and trade are dominated by countries such as Türkiye (59.15%), Italy (9.95%), the USA (7.25%), Azerbaijan (6.25%), and Chile (6.05%) (FAO, 2024). Instead of marketing their products in-shell, these major producer countries primarily supply hazelnuts to the market in the form of kernels to be used as raw materials in the food industry. The primary expectations of the food sector from hazelnut kernels are a high kernel percentage, homogeneous fruit size, characteristic flavor-aroma, and high blanching performance (Fontana et al., 2014). Particularly in the confectionery and pastry industries, easy removal of the pellicle (testa) and achieving a smooth, white color of the kernel are highly desired to prevent the formation of a bitter taste. Accordingly, priority is given to developing cultivars with high blanching ability in modern breeding programs (Mehlenbacher and Smith, 1988; Silvestri et al., 2021).

Although a portion of the pellicle peels off spontaneously when the hazelnut shell is cracked,

this does not provide a sufficient or practical solution for commercial-scale blanched hazelnut production. Therefore, in commercial quality classification, parameters such as blanching percentage, kernel yield, fruit morphology, and dimensions are accepted as critical criteria (Çetiner, 1976). "Blanching ability," which refers to the pellicle-removal degree of hazelnuts subjected to thermal processing at a specific temperature and time combination, imparts a crispy texture, an ideal color, and an enhanced aroma profile to the product. When the process is successfully completed, the resulting plump, bright, and smooth hazelnut kernels find a wide range of applications in chocolate spreads (e.g., Nutella), baked goods, and the confectionery industry. Conversely, hazelnut kernels that fail to separate from their pellicle are generally roasted and utilized in snack mixes, bread, pastry products, or breakfast cereals (Mehlenbacher, 1991).

The blanching and roasting stages are delicate processes that both partially alter the integrity of the chemical components of the hazelnut and release flavor components. The confectionery industry prefers raw materials that can shed their skin at a high rate, as this facilitates subsequent processing stages (Alasalvar et al., 2010; Silvestri et al., 2021). Technically, the ease of pellicle removal is tested by roasting the hazelnuts at a temperature of 130-150 °C for 15-20 minutes, followed by a mechanical rubbing process. Inherently, this trait is known to produce intermediate individuals because of crossing parents with low and high blanching capacities (Mehlenbacher and Molnar, 2022). On a cultivar basis, applying thermal processing at 175 °C for 10-15 minutes for ‘Tombul’ hazelnuts and at 150 °C for 20-30 minutes for ‘Palaz’ hazelnuts is recommended to achieve an ideal balance of color, flavor, and coat separation (Bostan and İslam, 1999a).

Studies have revealed that blanching performance does not depend on a single variable; rather, it exhibits significant variations depending on the ecological conditions of the growing region (Çetiner, 1976; Çetiner et al., 1984; Bostan and İslam, 1999b), genotype and drying methods (Bostan, 1999a; Bostan, 1999b), the age of the bush/plant (Bostan, 2001), the harvest year (Bostan and Günay, 2009), and whether harvesting is performed from the branch or the ground (Çırak and Bostan, 2018).

In previous studies, correlations between complete blanching and average blanching rates (Bostan, 2023) and the effects of blanching success on pomological properties and kernel yield (Bostan and İslam, 1999b) have been investigated. However, no specific study addressing the interactive relationship between direct biometric (dimensional/morphological) parameters of the kernel and blanching rates has been found in the literature.

This research was designed to fill this gap in the literature, aiming to clearly elucidate the relationships between kernel biometric characteristics and blanching rates in ‘Çakıldak’ and ‘Foşa’ hazelnuts, which are important cultivars with high commercial value in Türkiye.

2. MATERIALS AND METHODS

Commercially important ‘Çakıldak’ cultivars grown in the Ordu province and ‘Foşa’ cultivars

grown in the Trabzon province in Türkiye were used as plant materials in the study. The experimental orchards were approximately 80 years old and were established as multi-stemmed "bush" (ocak) planting systems traditionally managed by local growers.

The research was designed in a Randomized Complete Block Design (RCBD) with 3 replications, and 3 orchards were evaluated in each replication. In each replication, 5 kg of in-shell fruit samples were collected from sun-dried harvest batches.

After cracking the shells, the biometric parameters of the hazelnut kernels were calculated using dimensional measurements. Using the width, length, and thickness values determined on the kernel, the following indices were calculated based on equations specified in previous reports:

- **Shape index** (Yao and Mehlenbacher, 2000; Ahmad, 2009; Delprete and Sesana, 2014; Lopes et al., 2016; Milošević and Milošević, 2017; Correia et al., 2019; Ferrão et al., 2021; Romero-Aroca et al., 2021)
- **Compression index** (Yao and Mehlenbacher, 2000; Lopes et al., 2016; Correia et al., 2019; Ferrão et al., 2021)
- **Aspect ratio** (Milošević and Milošević, 2017)
- **Elongation index** (Ahmad, 2009; Sayıncı et al., 2015; Milošević and Milošević, 2017)
- **Arithmetic mean diameter** (Ahmad, 2009; Milošević and Milošević, 2017)
- **Geometric mean diameter** (Aydin, 2002; Ozdemir and Akinci, 2004; Capik et al., 2013; Hosseinpour et al., 2013; Capik, 2014; Delprete and Sesana, 2014; Sayıncı et al., 2015; Milošević and Milošević, 2017; Çetin et al., 2020; Selvi et al., 2020)
- **Sphericity** (Milošević and Milošević, 2017)
- **Surface area** (Ozdemir and Akinci, 2004; Sayıncı et al., 2015; Milošević and Milošević, 2017; Çetin et al., 2020; Selvi et al., 2020)
- **Volume** (Hosseinpour et al., 2013; Milošević and Milošević, 2017)

The mathematical formulations utilized are presented below:

1. Shape Index (SI) = $\frac{\text{Width} + \text{Thickness}}{2 \times \text{Length}}$
2. Compression Index (CI) = $\frac{\text{Width}}{\text{Thickness}}$
3. Aspect Ratio (AR) = $\left(\frac{\text{Width}}{\text{Length}} \right) \times 100$
4. Elongation Index (EI) = $\frac{\text{Length}}{\text{Width}}$
5. Arithmetic Mean Diameter (AMD) = $\frac{\text{Width} + \text{Length} + \text{Thickness}}{3}$

6. Geometric Mean Diameter (GMD) = $(\text{Width} \times \text{Length} \times \text{Thickness})^{1/3}$

7. Sphericity (S) = $\frac{\text{Geometric Mean Diameter}}{\text{Length}}$

8. Surface Area (SA) = $\pi \times \text{Geometric Mean Diameter}^2$

9. Volume (V) = $\frac{\pi \times \text{Width} \times \text{Length} \times \text{Thickness}}{6}$

Following the biometric measurements, the blanching process was initiated. For this purpose, kernel samples from each replication were distributed into 90 Petri dishes per cultivar, filled, divided into 3 groups with 30 dishes each. The samples in Petri dishes were kept in an oven at 150 °C for 20 min (Bostan and İslam, 1999a).

After removing the Petri dishes from the oven and allowing them to cool, the kernels were rubbed between hands for approximately 20 seconds until all loose pellicle (testa) were completely detached (Mehlenbacher and Smith, 1988).

Following this procedure, kernels with no remaining skin were classified as "completely blanched". In kernels where partial pellicle remained, the individual blanching rate was determined as a percentage, and these samples were classified as "partially blanched". Consequently, the "complete blanching rate" was calculated by ratioing the number of completely blanched samples to the total number of fruits in each Petri dish. The "average blanching rate" was calculated as the percentage mean of the blanching rates of all completely and partially blanched fruits (Bostan and İslam, 1999a).

Pairwise correlation analysis and Principal Component Analysis (PCA) between the kernel biometric parameters and blanching rate data were performed using JMP 13.2.0 statistical software package.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The univariate descriptive statistics, correlation analysis, and Principal Component Analysis (PCA) results applied to explain the multivariate variance to determine the relationships between the kernel biometric parameters and blanching performance of ‘Çakıldak’ and ‘Foşa’ cultivars are presented below.

4.1. Descriptive Statistics

Descriptive statistics regarding the kernel biometric properties and blanching parameters of ‘Çakıldak’ and ‘Foşa’ hazelnut cultivars are presented in Table 1. Distinct differences were observed between the two cultivars in terms of the examined characteristics.

Table 1. Univariate descriptive statistics for kernel biometric parameters and blanching rates

Variables	Abbr.	‘ÇAKILDAK’				‘FOŞA’			
		Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.
Shape index	SI	0.82	0.06	0.73	1.00	1.00	0.06	0.74	1.11
Compression index	CI	1.05	0.08	0.92	1.35	1.01	0.06	0.83	1.13
Aspect ratio	AR	0.84	0.07	0.74	1.01	1.01	0.07	0.75	1.12
Elongation index	EI	1.20	0.10	0.99	1.36	1.00	0.08	0.89	1.33
Arithmetic mean diameter (mm)	AMD	13.74	0.57	12.47	14.85	13.40	0.41	12.42	14.05
Geometric mean diameter (mm)	GMD	8.55	1.08	6.34	10.80	8.02	0.73	6.37	9.23
Sphericity	S	0.55	0.06	0.44	0.68	0.60	0.05	0.43	0.67
Surface area (mm ²)	SA	233.25	59.49	126.24	366.47	203.50	35.80	127.49	267.93
Volume (mm ³)	V	1343.17	169.15	995.74	1696.54	1259.16	114.72	1000.66	1450.63
Complete blanching rate (%)	CBR	69.97	31.68	10.00	100.00	88.89	9.19	70.00	100.00
Average blanching rate (%)	ABR	83.53	20.91	20.00	100.00	95.63	5.06	80.00	100.00

In terms of the shape index (SI), the mean value was determined as 0.82 for the ‘Çakıldak’ cultivar, whereas it was found to be 1.00 for ‘Foşa’. This result indicates that ‘Foşa’ possesses a more spherical or symmetrical kernel structure, while a more compressed or oval morphological structure dominates in ‘Çakıldak’. Similarly, aspect ratio (AR) values were 0.84 for ‘Çakıldak’ and 1.01 for ‘Foşa’, demonstrating that the kernel dimensions of ‘Foşa’ are closer to each other. The higher mean elongation index (EI) of ‘Çakıldak’ (1.20) compared to ‘Foşa’ (1.00) confirms that ‘Çakıldak’ kernels exhibit a more elongated morphological character.

No major differences were observed between the two cultivars regarding the compression index (CI), with mean values determined as 1.05 and 1.01 for ‘Çakıldak’ and ‘Foşa’, respectively. However, the maximum value reaching 1.35 in ‘Çakıldak’ points to a wider variation in terms of fruit shape within this cultivar.

When analyzing parameters representing kernel size-namely arithmetic mean diameter (AMD), geometric mean diameter (GMD), surface area (SA), and volume (V)-‘Çakıldak’ exhibited higher average values than ‘Foşa’. In ‘Çakıldak’, the AMD was 13.74 mm, GMD was 8.55 mm, surface area was 233.25 mm², and volume was 1343.17 mm³, while in ‘Foşa’, these values were 13.40 mm, 8.02 mm, 203.50 mm², and 1259.16 mm³, respectively. These findings indicate that ‘Çakıldak’ has a larger and more voluminous kernel structure. Furthermore, the higher standard deviation values for these parameters in ‘Çakıldak’ point to a wider variation in fruit size within the genotype.

Sphericity (S) values showed that the mean sphericity of ‘Foşa’ (0.60) was higher than that of ‘Çakıldak’ (0.55). This confirms that ‘Foşa’ kernels are geometrically closer to a spherical shape. The wide range between minimum and maximum sphericity values in both cultivars demonstrates significant variation in fruit shape.

Evaluating blanching characteristics, ‘Foşa’ exhibited a substantially higher blanching performance. The complete blanching rate (CBR) averaged 69.97% in ‘Çakıldak’, whereas it reached 88.89% in ‘Foşa’. Similarly, the average blanching rate (ABR) was 83.53% for ‘Çakıldak’ and 95.63% for ‘Foşa’. The low standard deviations for blanching rates in ‘Foşa’

(9.19 for CBR; 5.06 for ABR) reveal that this cultivar exhibits a more homogeneous structure regarding blanching. In contrast, the wide range of complete blanching in ‘Çakıldak’ (ranging from 10% to 100%) combined with high standard deviation suggest that its blanching performance may be more susceptible to environmental and genetic interactions.

Overall, ‘Çakıldak’ was characterized by larger, more voluminous, and more elongated kernels, while ‘Foşa’ stood out with a more spherical, homogeneous, and higher blanching capacity. Additionally, the higher variation observed in both biometric and blanching parameters in ‘Çakıldak’ indicates that this cultivar may possess a wider genetic variability potential for selection and breeding programs. On the other hand, the lower variation and superior blanching performance observed in ‘Foşa’ demonstrate its clear advantages for industrial roasting and processing.

4.2. Correlation Analysis

Correlation analysis involving the 9 biometric parameters and blanching rates revealed that significant positive relationships occurred exclusively in the ‘Çakıldak’ cultivar, specifically between blanching rates and kernel sphericity and surface area (Table 2).

Table 2. Correlations between kernel biometric parameters and blanching rates

Variables	Complete blanching rate		Average blanching rate	
	‘Çakıldak’	‘Foşa’	‘Çakıldak’	‘Foşa’
Shape index	0.240 ns	-0.138 ns	0.200 ns	-0.172 ns
Compression index	0.235 ns	-0.305 ns	0.139 ns	-0.136 ns
Aspect ratio	0.291 ns	-0.229 ns	0.222 ns	-0.202 ns
Elongation index	-0.276 ns	0.254 ns	-0.194 ns	0.215 ns
Arithmetic mean diameter (mm)	0.312 ns	-0.074 ns	0.323 ns	-0.143 ns
Geometric mean diameter (mm)	0.325 ns	-0.082 ns	0.329 ns	-0.150 ns
Sphericity	0.368*	-0.121 ns	0.351*	-0.183 ns
Surface area (mm ²)	0.335*	-0.076 ns	0.333*	-0.154 ns
Volume (mm ³)	0.324 ns	-0.081 ns	0.328 ns	-0.149 ns

* Significant at the 5% level ($p < 0.05$), ns: non-significant.

In the ‘Çakıldak’ cultivar, significant positive relationships were identified between blanching characteristics and specific biometric parameters. Positive correlations were determined between the complete blanching rate and sphericity ($r = 0.368$) as well as surface area ($r = 0.335$), and between the average blanching rate and sphericity ($r = 0.351$) as well as surface area ($r = 0.333$). These results suggest that kernels with a more spherical shape and a larger surface area tend to exhibit higher blanching efficacy during roasting. Conversely, no significant correlation was detected between blanching properties and biometric parameters in the ‘Foşa’ cultivar. This situation indicates that the blanching performance of ‘Foşa’ may depend more on other factors such as genetic structure, testa texture, moisture content, or specific roasting dynamics rather than kernel size and shape attributes.

The relationships between blanching rates and in-shell fruit traits have previously been

investigated in ‘Tombul’, ‘Palaz’, ‘Kalınkara’, and ‘Sivri’ cultivars, indicating that these correlations are cultivar-dependent. For instance, significant relationships were reported between the blanching rate and shell thickness in ‘Tombul’ and ‘Kalınkara’; between the blanching rate, nut weight, and kernel weight in ‘Palaz’; and between the blanching rate, nut thickness, and kernel yield in ‘Sivri’ (Bostan and İslam, 1999b). Although our study focused on kernel-specific and different parameters, significant relationships were found uniquely in the ‘Çakıldak’ cultivar. Moreover, the heritability of the blanching rate trait has been reported as 0.48 in one study (Mehlenbacher and Smith, 1988) and 0.64 in another (Yao and Mehlenbacher, 2000), which implies that varying coefficients predominantly stem from differences among genotypes.

4.3. Principal Component Analysis

Principal Component Analysis (PCA) was applied to evaluate the interrelationships among kernel biometric characteristics and blanching parameters in ‘Çakıldak’ and ‘Foşa’ hazelnut cultivars. In both cultivars, the eigenvalues of the first three principal components were greater than 1, accounting for most of the total variance (Table 3).

Table 3. Eigenvalues and total variance proportions of the first three principal components for the examined characteristics

Variables	‘Çakıldak’			Variables	‘Foşa’		
	PC1	PC2	PC3		PC1	PC2	PC3
S	0.973	0.051	-0.155	S	0.988	0.082	0.084
SA	0.902	0.406	-0.127	GMD	0.915	0.369	-0.142
GMD	0.892	0.432	-0.130	V	0.915	0.370	-0.141
V	0.892	0.432	-0.130	SA	0.906	0.383	-0.153
AMD	0.864	0.483	-0.122	AMD	0.904	0.386	-0.150
AR	0.656	-0.746	-0.104	AR	0.751	-0.568	0.330
SI	0.601	-0.677	-0.126	SI	0.743	-0.403	0.417
EI	-0.650	0.746	0.126	EI	-0.767	0.556	-0.307
ABR	0.485	0.018	0.847	ABR	-0.256	0.414	0.694
CBR	0.513	-0.060	0.829	CBR	-0.210	0.544	0.678
CI	0.430	-0.467	-0.018	CI	0.146	-0.546	-0.156
Eigenvalue	5.997	54.516	54.516	Eigenvalue	6.126	55.690	55.690
Variance (%)	2.567	23.334	77.850	Variance (%)	2.136	19.416	75.106
Cumulative (%)	1.536	13.966	91.816	Cumulative (%)	1.436	13.053	88.159

In ‘Çakıldak’, the first principal component (PC1) explained 54.52% of the total variance, while the second and third components contributed 23.33% and 13.97%, respectively. Together, the first three components explained 91.82% of the cumulative variance. In ‘Foşa’, the variance explained by PC1, PC2, and PC3 was 55.69%, 19.42%, and 13.05%, respectively, with the first three components explaining 88.16% of the cumulative variance. For the ‘Çakıldak’ cultivar, blanching rates loaded primarily on the third principal component, where the complete

blanching rate (CBR; 0.829) and average blanching rate (ABR; 0.847) achieved the highest loading values, indicating that blanching traits form a variation axis largely independent of dimensional properties.

In the ‘Foşa’ cultivar, a similar trend was observed where the average blanching rate (0.694) and complete blanching rate (0.678) exhibited high positive loadings on the third principal component, confirming that blanching characteristics constitute a distinct variation cluster.

When examining the PCA biplot for the ‘Çakıldak’ cultivar in Figure 1, the close positioning of the complete blanching rate and average blanching rate vectors demonstrates that these two parameters are highly correlated.

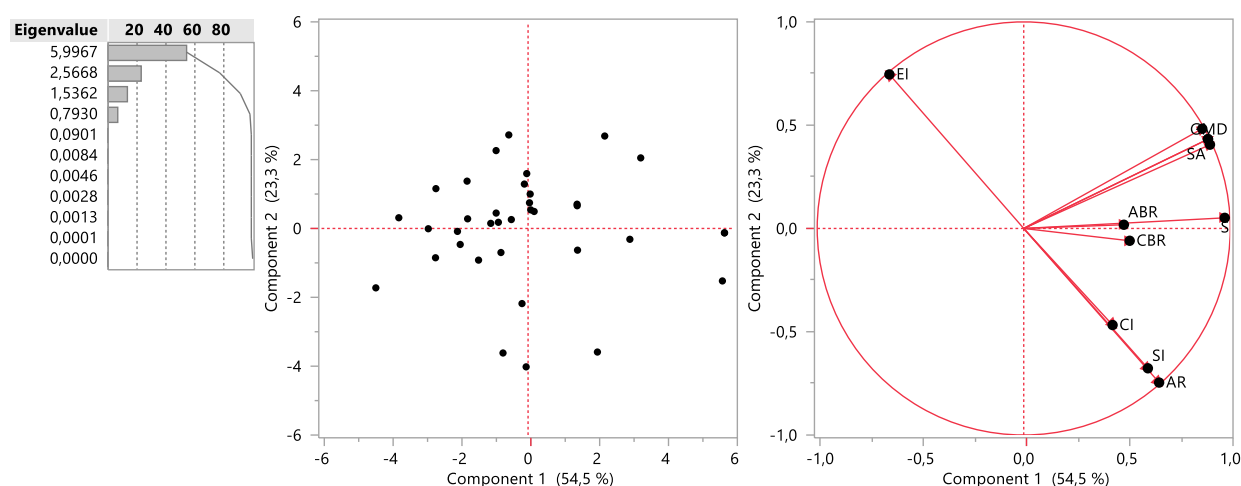


Figure 1. Summary PCA plot of the examined parameters according to the 1st and 2nd principal components in the ‘Çakıldak’ cultivar.

Similarly, in the principal component plot for the ‘Foşa’ cultivar, the total blanching ratio and the average blanching ratio-both indicators of whitening characteristics-were closely clustered together, forming a distinct cluster of variation (Figure 2).

These findings reveal that for both cultivars, the blanching performance of the kernel represents an independent variation component separated from general morphological features. In conclusion, the PCA results clearly highlight that blanching qualities should be evaluated as a separate cluster when characterizing ‘Çakıldak’ and ‘Foşa’ hazelnut cultivars.

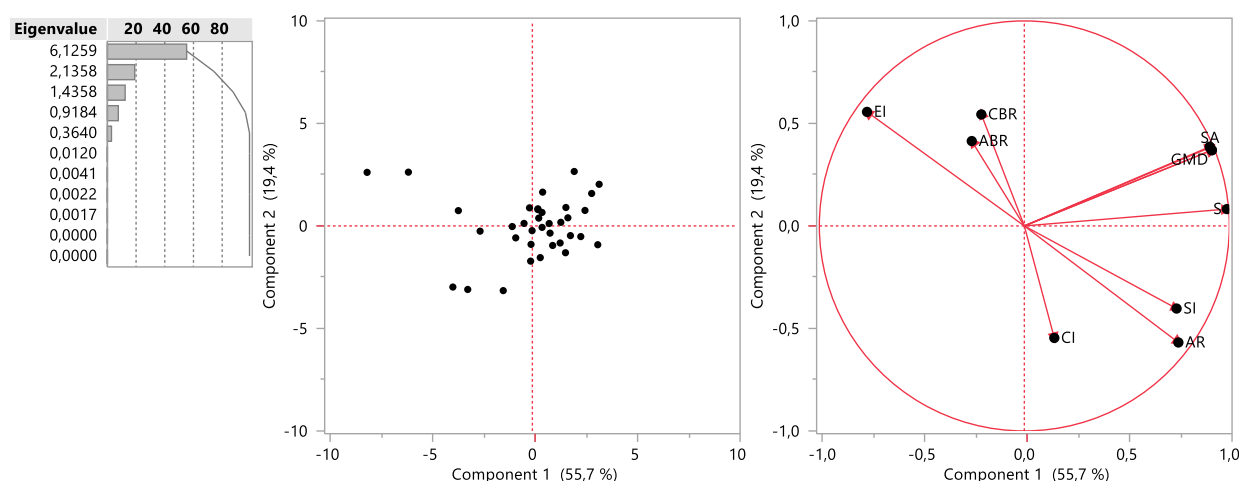


Figure 2. Summary PCA plot of the examined parameters according to the 1st and 2nd principal components in the 'Foşa' cultivar.

5. CONCLUSIONS

The results obtained in this study demonstrated that the evaluated biometric traits show substantial differences depending on the hazelnut cultivar.

The 'Çakıldak' cultivar was found to possess larger, more voluminous, and longer kernels, whereas the 'Foşa' cultivar exhibited a more spherical, homogeneous structure and a superior blanching capacity. Notably, the high complete and average blanching rates coupled with low variability in 'Foşa' indicate that this cultivar holds prominent advantages for the roasting and confectionery industries.

Significant associations between blanching parameters and biometric features were uniquely identified within the 'Çakıldak' cultivar. The positive correlation of sphericity and surface area with blanching performance in this cultivar suggests that these specific parameters could serve as indirect indicators for blanching success. Consequently, during selection and breeding programs aimed at identifying genotypes with high blanching performance within 'Çakıldak', biometric properties such as sphericity and surface area can be recommended as indirect selection criteria.

In conclusion, blanching performance in hazelnuts cannot be explained solely by kernel size and shape; genotype-specific traits, the structural setup of the pellicle (testa), chemical composition, and post-harvest processing conditions also play definitive roles. Future studies should evaluate different hazelnut cultivars, distinct ecological environments, and varied roasting regimes in combination. Additionally, incorporating parameters such as testa thickness, shell traits, moisture content, and chemical profile analysis alongside biometric measurements will extend the scope of future research. The findings obtained from this study are expected to provide meaningful contributions to future selection and breeding practices directed toward developing new hazelnut cultivars with superior blanching performance.

6. REFERENCES

- Ahmad, K. (2009). Documentation and evaluation of hazelnut germplasm in Dachigam area of Kashmir (Doctoral dissertation, Faculty of Postgraduate Studies Sher-E-Kashmir University of Agricultural Sciences & Technology of Kashmir).
- Alasalvar C, Pelvan E and Amarowicz R, (2010). Effects of roasting on taste active compounds of Turkish hazelnut varieties (*Corylus avellana* L.). J Agric Food Chem 58:8674–8679.
- Aydin, C. (2002). Ph-postharvest technology: Physical properties of hazel nuts. Biosystems Engineering, 82(3), 297-303. doi:10.1006/bioe.2002.0065
- Bostan, S. Z. (1999a). Farklı ortamlarda kurutulan fındıklarda bazı önemli kalite özellikleri üzerine bir araştırma. Bahçe, 28(1-2), 73-78.
- Bostan, S. Z. (1999b). Ordu Ekolojisinde yetiştirilen bazı fındık çeşitlerinde beyazlama özelliği üzerine bir araştırma. OMÜZF Dergisi, 14(2), 106-111.
- Bostan, S.Z. (2001). Variation in important nuts, kernel, leaf, and technological traits in hazelnut trees of different ages. Acta Horticulturae, 556, 291-298.
- Bostan, S.Z. (2023). Changes in the relationships between pomological characteristics in hazelnuts according to the picking manually from the branch and the ground. Turkish Journal of Food and Agriculture Sciences (TURJFAS), 5(2): 78-87.
- Bostan, S. Z., & Günay, K. (2009). Variation of important quality characteristics in hazelnut at different years and correlations between husk number and nut and kernel traits. Acta Horticulturae, 845, 641-646. DOI: 10.17660/ActaHortic.2009.845.100
- Bostan, S. Z., & İslam, A. (1999a). Ordu'da yetiştirilen Tombul ve Palaz fındık çeşitlerinde beyazlama oranı üzerine farklı sıcaklık ve sürelerin etkileri. Karadeniz Bölgesi Tarım Sempozyumu Bildirileri, 2, 537-546.
- Bostan, S. Z., & İslam, A. (1999b). Fındıkta beyazlama oranı ile diğer önemli meyve kalite özellikleri arasındaki karşılıklı ilişkilerin path analizi ile belirlenmesi. Türkiye III. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 14-17.
- Capik, J. M. (2014). Identifying and evaluating eastern filbert blight resistant hazelnuts (*Corylus* spp.) in New Jersey. Rutgers The State University of New Jersey, School of Graduate Studies.
- Capik, J. M., Muehlbauer, M., Novy, A., Honig, J. A., & Molnar, T. J. (2013). Eastern filbert blight-resistant hazelnuts from Russia, Ukraine, and Poland. HortScience, 48(4), 466-473.
- Correia, P., Rodrigues, C., Filipe, A., & Guiné, R. (2019). Evaluation of biometric characteristics of hazelnuts. 4th International Conference of Food and Biosystems Engineering Proceedings, 67-74.
- Çetin, N., Yaman, M., Karaman, K., & Demir, B. (2020). Determination of some physicommechanical and biochemical parameters of hazelnut (*Corylus avellana* L.) cultivars. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 44(5), 439-450. <https://doi.org/10.3906/tar-1905-115>
- Çetiner, E., 1976. Karadeniz Fındık Bölgesi Özellikle Giresun ve Çevresinde Tombul Çeşidi Üzerinde Seleksiyon Çalışmaları ile Bunları Tozlayıcı Yuvarlak Tiplerin Seçimi Üzerinde Araştırmalar. Ege Bölge Zirai Araştırma Enstitüsü (Basılmamış Doktora Tezi),

175 s, İzmir.

- Çetiner, E., Okay, A. N., Baş, F., 1984. Yuvarlak Pomolojik Fındık Grubunda Çeşit ve Tozlayıcı Ön Seçimi. Sonuç raporu. TOK Proje ve Uygulama Genel Müd. Ülkesel Proje Kod No: 111-038-1-280. Fındık Araştırma ve Eğitim Merkezi Müd. Giresun. 54 s.
- Çırak, M., & Bostan, S. Z. (2018). Effect on fruit quality traits of hazelnut cultivars when picking by hand from branch and ground. *Acta Horticulturae*, 1226, 339-344. DOI: 10.17660/ActaHortic.2018.1226.51
- Delprete, C., & Sesana, R. (2014). Mechanical characterization of kernel and shell of hazelnuts: Proposal of an experimental procedure. *Journal of Food Engineering*, 124, 28-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.027>
- FAO, 2024. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Ferrão, A. C., Guiné, R. P., Ramalhosa, E., Lopes, A., Rodrigues, C., Martins, H., ... & Correia, P. M. (2021). Chemical and physical properties of some hazelnut varieties grown in Portugal. *Agronomy*, 11(8), 1476. <https://doi.org/10.3390/agronomy11081476>
- Fontana M, Somenzi M and Tesio A, (2014). Cultivation, harvest and postharvest aspects that influence quality and organoleptic properties of hazelnut production and related final products. *Acta Hortic* 1052:311-314. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1052.43
- Hosseinpour, A., Seifi, E., Javadi, D., Ramezanzpour, S. S., & Molnar, T. J. (2013). Nut and kernel characteristics of twelve hazelnut cultivars grown in Iran. *Scientia Horticulturae*, 150, 410-413. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.028>
- Lopes, A., Matos, A., & Guiné, R. (2016). Evaluation of morphological and physical characteristics of hazelnut varieties. *Millenium-Journal of Education, Technologies, and Health*, (1), 13-24.
- Mehlenbacher, S. A. (1991). Hazelnuts (*Corylus*). In: Moore, J.N., Ballington, J.R. (eds) Genetic Resources in temperate fruit and nut crops. *Acta Horticulturae*, 209, 789-836. DOI: 10.17660/ActaHortic.1991.290.18
- Mehlenbacher, S. A., & Molnar, T. J. (2022). Hazelnut breeding. *Plant breeding reviews*, 45, 9-141. <https://doi.org/10.1002/9781119828235.ch2>
- Mehlenbacher, S. A., & Smith, D. C. (1988). Heritability of ease of hazelnut pellicle removal. *HortScience*, 23(6), 1053-1054.
- Milošević, T., & Milošević, N. (2017). Determination of size and shape features of hazelnuts using multivariate analysis. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 16(5), 49-61. DOI: 10.24326/asphc.2017.5.6
- Ozdemir, F., & Akinci, I. (2004). Physical and nutritional properties of four major commercial Turkish hazelnut varieties. *Journal of Food Engineering*, 63(3), 341-347. doi:10.1016/j.jfoodeng.2003.08.006
- Romero-Aroca, A., Rovira, M., Cristofori, V., & Silvestri, C. (2021). Hazelnut kernel size and industrial aptitude. *Agriculture*, 11(11), 1115. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111115>
- Sayıncı, B., Kara, M., Ercişli, S., Duyar, Ö., & Ertürk, Y. (2015). Elliptic Fourier analysis for shape distinction of Turkish hazelnut cultivars. *Erwerbs-obstbau*, 57(1), 1-11. DOI 10.1007/s10341-014-0221-7
- Selvi, K. Ç., Yesiloğlu, E., & Sauk, H. (2020). Engineering properties of two hazelnuts varieties

- and its kernel relation to harvest and threshing. *Italian Journal of Food Science*, 32(3).
- Silvestri, C., Bacchetta, L., Bellincontro, A., & Cristofori, V. (2021). Advances in cultivar choice, hazelnut orchard management, and nut storage to enhance product quality and safety: an overview. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(1), 27-43. DOI 10.1002/jsfa.10557
- Yao, Q., & Mehlenbacher, S. A. (2000). Heritability, variance components and correlation of morphological and phenological traits in hazelnut. *Plant Breeding*, 119(5), 369-381.

THE ROLE OF CANOPY POSITION ON THE CHEMICAL COMPOSITION AND PHYTOCHEMICAL PROPERTIES OF MEDLAR (*Mespilus germanica* L.) FRUITS

Prof. Dr. Saim Zeki BOSTAN

Ordu University Faculty of Agriculture, Department of Horticulture

Cumhuriyet Campus, 52200, Altınordu, Ordu, TÜRKİYE

szbostan@hotmail.com

ORCID: 0000-0001-6398-1916

ABSTRACT

This study aimed to determine the effects of different canopy positions (upper, middle, lower) on the chemical composition and phytochemical properties of fruits in standard medlar (*Mespilus germanica* L.) cultivars ('İstanbul' and 'Akçakoca 77') trained to the open-center (goblet) system under Ordu ecological conditions. The research was conducted in a randomized block design using 9-year-old trees located at the Research and Application Orchard of Ordu University, Faculty of Agriculture. Fruits harvested at the consumption maturity stage from the upper, middle, and lower zones of the canopy were analyzed for total dry matter, moisture, pH, soluble solid content (SSC), titratable acidity (TA), ascorbic acid, total phenolics, total flavonoids, and DPPH and FRAP antioxidant activities. The results revealed that the investigated parameters were significantly influenced by both cultivar and canopy position (except for the main effect of canopy position on SSC). The highest total dry matter content was obtained from the upper canopy (28.19%), while the lowest was in the lower canopy (23.97%). Conversely, TA (0.69%), total phenolics (307.37 mg GA kg⁻¹ FW), total flavonoids (69.50 mg QE kg⁻¹ FW), DPPH (5153.60 µmol TE kg⁻¹ FW), and FRAP (17336.78 µmol TE kg⁻¹ FW) reached their maximum levels in fruits positioned in the lower layer of the canopy. In terms of cultivars, 'Akçakoca 77' exhibited superior performance regarding phytochemical contents and antioxidant capacity compared to 'İstanbul'. It was concluded that the intra-canopy microclimate and light regime play a decisive role in fruit quality and bioactive compound synthesis in medlar trees; particularly, shaded lower-canopy fruits enhance phytochemical and antioxidant activity as a response to microclimatic stress.

Keywords: Common medlar, Crown zone, Ascorbic acid, Antioxidant, Phenolic, Flavonoid

TAÇ KONUMUNUN MUŞMULA (*Mespilus germanica* L.) MEYVELERİNDE KİMYASAL BİLEŞİM VE FİTOKİMYASAL ÖZELLİKLERDEKİ ROLÜ

ÖZET

Bu çalışmada, Ordu ekolojik koşullarında goble terbiye sistemine göre yetiştirilen 'İstanbul' ve 'Akçakoca 77' standart muşmula (*Mespilus germanica* L.) çeşitlerinde, farklı kanopi/taç konumlarının (üst, orta, alt) meyvelerin kimyasal bileşimi ve fitokimyasal özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Araştırma, Ordu Üniversitesi Ziraat Fakültesi Araştırma ve Uygulama Arazisi'nde bulunan 9 yaşındaki ağaçlarda, rastlantı parselleri deneme desenine göre yürütülmüştür. Tüketim olumu aşamasında ağaçların üst, orta ve alt bölgelerinden hasat edilen meyvelerde; toplam kuru madde, nem, pH, suda çözünür kuru madde (SÇKM), titre edilebilir asitlik (TEA), askorbik asit, toplam fenolik, toplam flavonoid ile DPPH ve FRAP

antioksidan aktiviteleri belirlenmiştir. Analiz sonuçları, incelenen parametrelerin hem çeşide hem de taç konumuna göre (SÇKM'nin taç konumu ana etkisi hariç) istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilendiğini göstermiştir. Toplam kuru madde oranı üst taç konumunda en yüksek (%28.19) iken, alt konumda en düşük (%23.97) bulunmuştur. Buna karşın; TEA (%0.69), toplam fenolik (307.37 mg GA kg⁻¹ FW), toplam flavonoid (69.50 mg QE kg⁻¹ FW), DPPH (5153.60 µmol TE kg⁻¹ FW) ve FRAP (17336.78 µmol TE kg⁻¹ FW) değerlerinin kanopinin alt katmanlarında konumlanan meyvelerde en yüksek seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Çeşitler bazında 'Akçakoca 77' çeşidinin fitokimyasal içerik ve antioksidan kapasite yönünden 'İstanbul' çeşidine göre daha üstün performans gösterdiği belirlenmiştir. Muşmula ağaçlarında taç içi mikroiklimin ve ışık rejiminin, meyve kalitesi ve biyoaktif bileşiklerin sentezi üzerinde belirleyici bir rol oynadığı; özellikle gölgelenen alt kanopi meyvelerinin savunma mekanizması olarak fitokimyasalları ve antioksidan aktiviteyi artırdığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Döngel, Taç pozisyonu, Askorbik asit, Antioksidan, Fenolik, Flavonoid

1. INTRODUCTION

When fruit trees reach their full bearing period, a pronounced heterogeneity is observed in both the internal and external quality attributes of the fruits, as well as in their ripening stages. This phenomenon is largely attributed to the uneven distribution of light within the tree canopy (Kviklys et al., 2022). The specific microclimate of fruit locations within the canopy directly shapes the microenvironmental factors they are exposed to, such as temperature and solar radiation, which in turn differentiates their growth rhythms and maturation kinetics (A Kassem et al., 2024).

In contemporary modern fruit cultivation, achieving a uniform and high-quality yield alongside high productivity is a fundamental priority. Accordingly, the most effective strategy to maximize fruit quality relies on optimizing the performance potential of existing orchards. Variations in canopy architecture induced by diverse training and pruning systems significantly alter light penetration into the inner strata of the canopy. Empirical studies confirm that yield and qualitative traits are directly associated with the intra-canopy position and are heavily influenced by the light transmittance across the shading gradient. Indeed, shading experiments have demonstrated that the amount of light intercepting the inner canopy must remain above a critical threshold value to ensure the production of premium quality fruits (Tustin et al., 1988; Luchsinger et al., 2002).

The primary objective in modern orchard management is to ensure absolute uniformity (homogeneity) in the physicochemical and ripening characteristics of fruits, concurrent with high yields. Conversely, when trees attain full maturity, structural deviations in these parameters begin to emerge across the canopy. These qualitative and quantitative variations identified in horticultural crops are predominantly driven by the irregularities of the intra-canopy light regime and the consequent formation of microclimatic micro-environments. Depending on their horizontal or vertical spatial allocation, fruits are subjected to distinct environmental dynamics, particularly photosynthetically active radiation (PAR) and temperature. This microclimatic variation directly regulates a wide array of physiological mechanisms, ranging from vegetative

growth to biochemical composition and ripening kinetics (Kviklys et al., 2022; A Kassem et al., 2024).

This microclimatic gradient occurring along the vertical (top, middle, bottom) and horizontal (inner, outer, and orientations) axes of the tree canopy significantly modifies the physiology of leaves, which serve as the primary assimilation centers of the plant. Literature indicates a clear decreasing trend in specific leaf weight (dry weight per unit area), as well as in starch, soluble carbohydrate, insoluble nitrogen, and chlorophyll concentrations as canopy height decreases. Similarly, vegetative and physiological parameters-such as leaf surface area, chlorophyll content, and net assimilation capacity-of leaves positioned at the upper and outer peripheries of the canopy remain substantially higher than those situated in the inner and lower layers. On the other hand, analyses based on dry weight reveal that the dependence of leaf nutrient element content on canopy height does not always follow a linear trend, and in certain fruit species, this condition does not critically manipulate diagnostic leaf sampling (Haynes, 1980; Haynes & Goh, 1980; George et al., 1996; A Kassem et al., 2024).

Although medlar (*Mespilus germanica* L.) possesses high traditional consumption value and significant functional food potential, the impacts of canopy architecture on its leaf and fruit physiology have not been sufficiently documented in the literature. The findings summarized above from other fruit species clearly elucidate how strongly light and spatial interaction dominate product quality. Driven by these considerations, the objective of this study was to determine the effects of different vertical canopy positions on the chemical composition and phytochemical properties of medlar fruits.

2. MATERIALS and METHODS

The study was conducted using standard medlar cultivars, namely ‘İstanbul’ and ‘Akçakoca 77’, cultivated at the Research and Application Orchard of Ordu University, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture. The trees were 9 years old (as of 2026) and planted at a spacing of 3.0 m × 3.5 m within and between rows, respectively. Following planting, the trees were trained to an open-center (goblet) system. Regular irrigation, fertilization, pest control, and soil tillage practices were systematically applied in the orchard.

The experiment was arranged in a completely randomized design with three replications. Fruits were harvested at the consumption maturity stage-defined as the period when astringency decreases and approximately 50% of the fruit flesh turns brown (Yılmaz, 2015)-and laboratory analyses were performed simultaneously during this period.

In mid-October 2024, a total of 45 fruit samples were collected from the top, middle, and bottom zones of the trees, comprising 15 fruits from each of the 3 replicates per zone (Figure 1).

The chemical and phytochemical attributes of the fruits, including total dry matter, moisture content, pH, soluble solids content (SSC), titratable acidity (TA), ascorbic acid, total phenolic content, total flavonoid content, DPPH antioxidant activity, and FRAP antioxidant activity, were determined according to the methods described by Maden (2025).

The obtained data was subjected to analysis of variance (ANOVA) using the SAS-JMP 13.2.0 statistical software package, and the significance level was evaluated at $\alpha = 5\%$. Mean separations were performed using the Least Significant Difference (LSD) test.

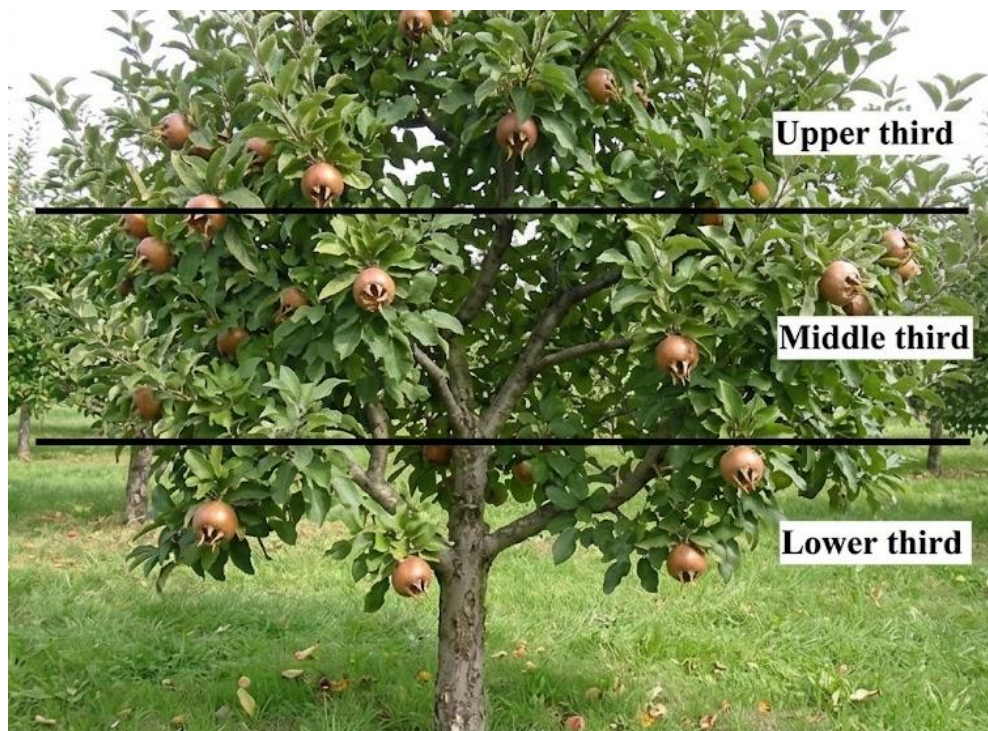


Figure 1. Spatial positions within the canopy where fruit samples were collected.

4. RESULTS and DISCUSSION

The effects of canopy position and cultivar factors on the biochemical and phytochemical composition of medlar fruits were statistically analyzed, and the results are presented in Table 1.

Total dry matter and moisture content: Vertical variations in canopy position significantly influenced the total dry matter and moisture contents of the fruits in an inversely proportional manner ($p < 0.05$). In the uppermost layers of the canopy, which receive maximum sunlight and are photosynthetically highly active, the average total dry matter reached its peak at 28.19%, whereas it declined to 23.97% toward the lower layers due to attenuated light penetration. When evaluated on a cultivar basis, the sensitivity to canopy positioning was remarkably higher in ‘Akçakoca 77’ (showing a sharp decline from 33.17% to 26.02%) than in ‘İstanbul’. Concurrently, as a natural consequence of the dry matter gradient, moisture contents reached their highest value in fruits harvested from the lower canopy (76.03%). Previous reports on apricots, apples, and persimmons similarly indicated that total dry matter values in the upper zone of the canopy were significantly higher compared to the lower zone (Karabulut et al., 2018; Kviklys et al., 2022; A Kassem et al., 2024).

pH and titratable acidity: Regarding the pH values of fruit juice, it was determined that fruits from the bottom position exhibited a significantly lower pH (8.68) than those from the top and middle positions. This result aligns perfectly with previous reports on peach and apricot (Luchsinger et al., 2002; Karabulut et al., 2018).

The reduction in pH was highly consistent with the titratable acidity (TA) dataset; indeed, the average TA value of fruits harvested from the bottom position (0.69%) was distinctly higher than that of the top (0.45%) and middle (0.46%) positions. In particular, the acidity reached its peak at 0.87% in the bottom-canopy fruits of ‘Akçakoca 77’. This phenomenon could be explained by insufficient solar radiation in the lower canopy, which potentially downregulates respiration rates or delays the degradation of kinetics of organic acids. Conversely, in different fruit species such as orange and persimmon, this parameter was reported to be non-significantly affected by tree canopy positions (Serna-Escolano et al., 2024; A Kassem et al., 2024).

Table 1. Variations in fruit chemical and phytochemical characteristics according to canopy position

Trait	Cultivar (C)	Canopy Position (CP)			Mean	LSD _{0.05} /	F Ratio /	Prob > F
		Upper	Middle	Lower		C	CP	C * CP
Total dry matter (%)	‘Akçakoca77’	33.17 a	30.95 b	26.02 c	30.05 a	0.91	1.11	1.57
	‘İstanbul’	23.22 de	23.63 d	21.91 e	22.92 b	293.899	38.1919	16.4798
	Mean	28.19 a	27.29 a	23.97 b		<.0001*	<.0001*	0.0004*
Moisture (%)	‘Akçakoca77’	66.83 e	69.01 d	73.98 c	69.94 b	0.91	1.11	1.57
	‘İstanbul’	76.78 ab	76.37 b	78.09 a	77.08 a	294.9998	38.3173	16.4955
	Mean	71.81 b	72.69 b	76.03 a		<.0001*	<.0001*	0.0004*
pH	‘Akçakoca77’	8.99 ab	8.91 bc	8.35 d	8.75 b	0.05	0.06	0.09
	‘İstanbul’	8.89 c	9.02 a	9.01 a	8.97 a	91.5981	64.8318	98.7757
	Mean	8.94 a	8.97 a	8.68 b		<.0001*	<.0001*	<.0001*
Soluble solids content (SSC) (%)	‘Akçakoca77’	9.80 d	10.46 bc	10.20 cd	10.15 b	0.30	-	0.52
	‘İstanbul’	11.13 a	10.54 bc	10.86 ab	10.84 a	25.1812	0.0706	6.9141
	Mean	10.47	10.50	10.53		0.0003*	0.9323	0.0101*
Titratable acidity (TA) (%)	‘Akçakoca77’	0.41 c	0.50 b	0.87 a	0.59 a	0.02	0.02	0.03
	‘İstanbul’	0.49 b	0.42 c	0.50 b	0.47 b	191.629	307.5968	232.5645
	Mean	0.45 b	0.46 b	0.69 a		<.0001*	<.0001*	<.0001*
Ascorbic acid (mg 100g ⁻¹)	‘Akçakoca77’	47.33 b	59.33 a	58.89 a	55.19 a	4.85	-	8.41
	‘İstanbul’	40.33 bc	41.00 bc	32.67 c	38.00 b	59.5195	2.8282	6.2723
	Mean	43.83	50.17	45.78		<.0001*	0.0986	0.0137*
Total phenolic (mg GA kg ⁻¹ FW)	‘Akçakoca77’	219.12 c	266.58 b	406.42 a	297.37 a	24.27	29.72	42.04
	‘İstanbul’	204.72 c	152.98 d	208.32 c	188.67 b	95.2293	33.3805	22.713
	Mean	211.92 b	209.78 b	307.37 a		<.0001*	<.0001*	<.0001*
Total flavonoid (mg QE kg ⁻¹ FW)	‘Akçakoca77’	35.77	37.40	60.02	44.39 b	6.17	7.56	-
	‘İstanbul’	58.35	43.30	78.98	60.21 a	31.1606	38.7069	3.1981
	Mean	47.06 b	40.35 b	69.50 a		0.0001*	<.0001*	0.077
DPPH activity (μmol TE kg ⁻¹ FW)	‘Akçakoca77’	4323.02 b	4885.28 b	6729.03 a	5312.44 a	379.59	464.91	657.48
	‘İstanbul’	3566.45 c	2144.57 d	3578.17 c	3096.40 b	161.7914	31.7107	18.0061
	Mean	3944.73 b	3514.93 b	5153.60 a		<.0001*	<.0001*	0.0002*
FRAP activity (μmol TE kg ⁻¹ FW)	‘Akçakoca77’	14387.93 bc	15375.30 b	21570.50 a	17111.24 a	1182.37	1448.10	2047.92
	‘İstanbul’	11592.80 d	11461.13 d	13103.07 cd	12052.33 b	86.9056	25.9808	10.2173
	Mean	12990.37 b	13418.22 b	17336.78 a		<.0001*	<.0001*	0.0026*

* Means within the same column or row group followed by different letters are statistically significant according to the LSD test ($p < 0.05$).

Soluble solids content (SSC): Although the main effect of canopy position on SSC was statistically non-significant ($p > 0.05$), the Cultivar × Canopy Position interaction was found to be significant ($p < 0.05$). In the cultivar ‘İstanbul’, the highest SSC was observed at the top

position with 11.13%, whereas in ‘Akçakoca 77’, the maximum SSC (10.46%) was detected at the middle position. Conflicting reports exist in the literature: SSC in apples was shown to increase from the lower layers upward (Tustin et al., 1988), and the vertical distribution of SSC in apples varied considerably depending on the cultivar-with peak sugar content in the lower canopy for ‘Red Delicious’ but in the upper canopy for ‘Golden Delicious’ (Sestras et al., 2009). Furthermore, while apricot, orange, persimmon, and peach often present higher SSC values in the upper zone than the lower zone (Karabulut et al., 2018; Luchsinger et al., 2002; A Kassem et al., 2024; Serna-Escolano et al., 2024), other studies on apple and persimmon reported no significant spatial variations in SSC across different canopy zones (George et al., 1996). Such discrepancies among published reports are likely driven by confounding factors such as species, cultivar, climate, ecological conditions, training systems, tree age, harvest dates, and cultural management practices.

Ascorbic acid (Vitamin C): Ascorbic acid content, a key health-promoting component, exhibited distinct trends depending on the cultivar. Although the general main effect of canopy position was statistically non-significant ($p > 0.05$), interaction analysis revealed that the highest values for ‘Akçakoca 77’ were obtained from the middle (59.33 mg 100g⁻¹) and bottom (58.89 mg 100g⁻¹) positions. In apricot, mean ascorbic acid values between the lower and upper canopy zones were similarly reported to be statistically identical (Karabulut et al., 2018).

Total phenolic and total flavonoid contents: The most striking findings of this research were captured within the phytochemical profiles and antioxidant activities. Total phenolic (307.37 mg GA kg⁻¹ FW) and total flavonoid (69.50 mg QE kg⁻¹ FW) contents were found to be significantly higher in fruits localized in the bottom canopy compared to the upper and middle strata ($p < 0.05$). Contrary to these outcomes, studies on apricot (Karabulut et al., 2018) and apple (Kviklys et al., 2022) indicated that total phenolics peaked in the highly illuminated upper canopy sections. This variation further reinforces the assumption that secondary metabolite allocation behaves dynamically depending on species, cultivar, microclimate, training system, tree age, and postharvest or cultural conditions.

Antioxidant activity: Parallel to the phytochemical accumulation pattern, both DPPH (5153.60 µmol TE kg⁻¹ FW) and FRAP (17336.78 µmol TE kg⁻¹ FW) antioxidant activities culminated at the bottom position. Similarly, DPPH values in the lower canopy zone of apricot were reported to be significantly higher than those in the upper zone (Karabulut et al., 2018). Among the tested cultivars, ‘Akçakoca 77’ consistently demonstrated a superior phenolic profile and higher antioxidant capacity compared to ‘İstanbul’ across all canopy zones. This phytochemical upregulation within the shaded lower canopy can be interpreted as a physiological defense mechanism, where the plant stimulates secondary metabolite production (phenolics, flavonoids) to counteract microclimatic stress conditions such as low light intensity combined with elevated relative humidity.

5. CONCLUSIONS

This research clearly demonstrates that vertical canopy positioning (top, middle, bottom) within medlar trees profoundly modifies both fundamental chemical parameters and functional bioactive components of the fruits.

- **Relationship Between Light and Dry Matter:** The high light intensity intercepting the outer periphery and upper section of the tree facilitated the accumulation of photosynthates in these zones, thereby maximizing the total dry matter content in upper canopy fruits. For standardization and dry-matter-oriented industrial processing, fruits from the top and middle layers come to the fore.
- **Enrichment of Bioactive Compounds in the Lower Canopy:** Fruits located in the lower canopy presented a significantly richer content in terms of total phenolics, total flavonoids, and total antioxidant capacity (DPPH and FRAP) compared to the upper layers. This accumulation is triggered by exposure to lower light regimes and altered microclimatic dynamics. Consequently, for the utilization of medlar as a "functional food" or for "medico-aromatic" extraction purposes, fruits from the lower canopy represent a high value-added raw material.
- **Cultivar Superiority:** The cultivar 'Akçakoca 77' displayed a superior performance over 'İstanbul' under Ordu ecological conditions, characterized by higher dry matter accumulation, balanced acidity, and particularly a prominent antioxidant potential.

Future Recommendations:

1. In modern medlar cultivation, novel research should be designed combining alternative training systems (e.g., Y-trellis, central leader) and specific pruning methods that optimize intra-canopy light homogeneity and minimize quality deviations in the lower strata.
2. During harvesting operations, considering that ripening rates shift depending on canopy position (higher acidity and moisture in lower layers), the implementation of a selective, multi-stage sequential harvesting model is recommended to ensure uniformity in fruit quality.
3. The elevated antioxidant content of lower canopy fruits suggests that these fruits could be separately categorized and marketed as a premium product group, specifically targeting the dietary supplement or natural protective extract manufacturing sectors.

6. REFERENCES

- A Kassem, H., Marzouk, H. A., & M El-Berry, I. (2024). Growth, Productivity and Quality Performance of Costata Persimmon in Relation to Canopy Position and Rootstock. Alexandria Science Exchange Journal, 45(1), 47-56. DOI: 10.21608/asejaiqsae.2024.341451
- George, A. P., Nissen, R. J., Collins, R. J., & Rasmussen, T. S. (1996). Effects of shoot variables and canopy position on fruit set, fruit quality and starch reserves of persimmon

- (*Diospyros kaki* L.) in subtropical Australia. Journal of Horticultural Science, 71(2), 217-226.
- Haynes, R. J. (1980). Effect of crown position on the chemical composition of Golden Delicious and Granny Smith apple leaves and fruit. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 11(4), 393-403. DOI: 10.1080/00103628009367046
- Haynes, R. J., & Goh, K. M. (1980). Variation in the nutrient content of leaves and fruit with season and crown position for two apple varieties. Australian Journal of Agricultural Research, 31(4), 739-748. <https://doi.org/10.1071/AR9800739>
- Karabulut, I., Bilenler, T., Sislioglu, K., Gokbulut, I., Seyhan, F., Ozdemir, I. S., & Ozturk, B. (2018). Effect of fruit canopy positions on the properties of apricot (*Prunus armeniaca* L.) varieties. Journal of Food Biochemistry, 42(1), e12458. DOI: 10.1111/jfbc.12458
- Kviklys, D., Viškelis, J., Liaudanskas, M., Janulis, V., Laužikė, K., Samuolienė, G., ... & Lanauskas, J. (2022). Apple fruit growth and quality depend on the position in tree canopy. Plants, 11(2), 196. <https://doi.org/10.3390/plants11020196>
- Luchsinger, L., Ortin, P., Reginato, G., & Infante, R. (2002). Influence of Canopy Fruit Position on the Maturity and Quality of ‘Angelus’ Peaches. Acta Horticulturae, 592, 515-521. DOI:10.17660/ActaHortic.2002.592.69
- Maden, E. (2025). Kivi bahçesi mikroklimatik koşullarının fenolojik ve pomolojik özelliklere etkisi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Serna-Escolano, V., Giménez, M. J., Serrano, M., Valero, D., García-Pastor, M. E., Dobón-Suarez, A., ... & Zapata, P. J. (2024). Fruit position on tree canopy affects fruit quality traits in ‘Sanguinelli’ blood oranges. Horticulturae, 10(9), 949. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10090949>
- Sestras, A., Sestras, R., Lazar, V., Mitre, V., Mitre, I., Ropan, G., & Barbos, A. (2009). The influence of fruit position in the crown of trees on the sugar content and morphological traits of apple fruits. Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture, 66(1), 170-176.
- Tustin, D. S., Hirst, P. M., & Warrington, I. J. (1988). Influence of orientation and position of fruiting laterals on canopy light penetration, yield, and fruit quality of ‘Granny Smith’ apple. Journal of the American Society for Horticultural Science, 113(5), 693-699.
- Yılmaz, A., (2015). “Tokat’ta Doğal Olarak Yetişen Muşmula (*Mespilus germanica* L.) Genotiplerinin Seleksiyonu”. Doktora Tezi Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bahçe Bitkileri Anabilim Dalı, Tokat.

ERDEMLİ (MERSİN) İLÇESİNİN BAZI ODUN DIŞI ORMAN ÜRÜNLERİ VE YÖRESEL KULLANIMLARI

Orman Mühendisi, İkra DEMİREL*

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi,
ikrademirel1@icloud.com - ORCID ID: 0009-0009-6421-4781

Dr. Öğr. Üyesi Gamze TUTTU

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi,
gamze.tuttu@gmail.com - ORCID ID: 0000-0002-3319-9365

ÖZET

Ülkemiz yüzölçümünün yaklaşık %30'unu kaplayan ormanlar, odun hammaddesi sağlamanın yanı sıra birçok farklı alanda yaralandığımız zengin biyolojik kaynaklara da ev sahipliği yapmaktadır. Odun dışı orman ürünleri (ODOÜ) olarak adlandırılan bu kaynaklar gıda, ilaç, baharat, endüstriyel hammadde, geleneksel kullanım gibi hayatın her alanında önemli bir yer tutmakta, kırsal kesimde ev ekonomisine katkı sağlarken ülkeler açısından ise ihracata konu olmaktadır. Hane ve ülke bazında ekonomik olarak önemli getiriler sağlayan bu kaynaklardan sürdürülebilir olarak faydalanmak için öncelikle ürünlerin potansiyellerinin ortaya koyulması gerekmektedir. Bu nedenle Erdemli İlçesi Limonlu Kasabası'ndaki odun dışı orman ürünlerini tespit etmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Araştırma alanında 2025 yılı vejetasyon dönemi içerisinde araziye ve pazara gidilerek yöre halkı ile bitkilerin kullanım alanları ve kullanım biçimleri hakkında görüşmeler yapılmış, verilen bilgiler kaydedilmiştir. Ayrıca çarşı-pazarlarda satılan odun dışı orman ürünleri de fotoğraflanarak tespit edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda; 12 bitki taksonunun ODOÜ olarak kullanıldığı belirlenmiş ve bu taksonlara ait yöresel kullanım şekilleri kayıt altına alınmıştır. Tespit edilen taksonların hepsi gıda ve tedavi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca baharat, kozmetik, böcek kovucu-koruyucu ve hayvan yemi olarak kullanımları da kaydedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Batısandallı, Limonlu, Mersin, Odun Dışı Orman Ürünleri (ODOÜ).

SOME NON-WOOD FOREST PRODUCTS AND THEIR LOCAL USES OF ERDEMLİ (MERSİN) DISTRICT

ABSTRACT

Forests cover approximately 30% of Turkey's land area; in addition to providing wood raw materials, they are home to rich biological resources utilized in many different fields. These resources, known as non-wood forest products (NWFPs), play a significant role in all aspects of life, including food, medicine, spices, industrial raw materials, and traditional uses; contributing to household economies in rural areas while also serving as export commodities

for nations. To sustainably utilize these resources, which generate significant economic returns at both the household and national levels, it is first necessary to identify the potential of the products involved. Therefore, a study was conducted to identify non-wood forest products in the town of Limonlu, located in the Erdemli district. During the 2025 vegetation period, fieldwork and market visits were carried out; local residents were interviewed regarding the usage areas and methods of the plants, and the information provided was recorded. Additionally, non-wood forest products sold in local markets were photographed and identified. The study determined that 12 plant taxa are utilized as NWFPs, and the local usage patterns associated with these taxa were recorded. All the identified taxa are used for food and medicinal purposes; uses as spices, cosmetics, insect repellents/protectants, and animal feed were also noted.

Keywords : Batısandall, Limonlu, Mersin, Non-wood forest plant products (NWFPs).

1. GİRİŞ

Orman ekosistemleri yalnızca odun üretimi açısından değil, aynı zamanda bünyesinde barındırdığı odun dışı orman ürünleri bakımından da büyük bir öneme sahiptir. DPT raporuna [1] göre; Orman içi ve açıklıklarında yetişen, insanların ve diğer canlıların kendi ihtiyaçlarını karşılamak veya gelir sağlamak için yararlandıkları her türlü bitkisel veya hayvansal ürünler odun dışı orman ürünleri (ODOÜ) olarak tanımlanmaktadır [2]. Bu ürünler; tıbbi, aromatik, besin ve geleneksel kullanım alanlarıyla insan yaşamında önemli bir yer tutmakta ve özellikle kırsal bölgelerde yaşayan halk için ekonomik ve kültürel değer taşımaktadır.

Tıbbi bitkiler, doğadan toplanan, kültürü yapılan ve drogu alınarak alternatif tıp sektöründe veya ilaç sanayinde kullanılan bitkilerdir. Aromatik bitkiler ise aroma ve koku özelliği bulunan bitkilere denilmektedir [3]. Her iki kelimenin de yer aldığı tıbbi ve aromatik bitkiler ise insan ve hayvan sağlığının korunmasını sağlayan, hastalıkları önleyen, içerisinde etken maddeler bulunan ve iyileştirici etkilerinden yararlanılan bitkilerdir [4].

Türkiye, farklı iklim tipleri ve zengin bitki çeşitliliği sayesinde odun dışı orman ürünleri bakımından oldukça zengin bir ülkedir. Akdeniz Bölgesi ise bu zenginliğin yoğun olarak gözlemlendiği bölgelerden biridir. Mersin ili Erdemli ilçesine bağlı Batısandall-Limonlu yöresi, Akdeniz ikliminin etkisi altında bulunması ve doğal bitki örtüsünün çeşitliliği sayesinde çok sayıda odun dışı orman ürününe ev sahipliği yapmaktadır. Odun dışı orman ürünleri, doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı açısından dikkatle ele alınması gereken unsurlar arasında yer almaktadır.

Bu bildiride, Batısandall-Limonlu yöresinde yayılış gösteren odun dışı orman ürünleri ve bu ürünlerin yöre halkı tarafından bilinen kullanım alanları tespit edilerek, saptanan 12 bitki taksonunun kullanım şekilleri hakkında bilgiler sunulmuştur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırma alanı, Akdeniz Bölgesinde, Mersin İli Erdemli ilçesi sınırları içerisinde bulunan Limonlu Kasabası ile Batısandallı Köyü ve çevresidir. Erdemli ilçesinin kuzeyinde Karaman, güneyinde Akdeniz, batısında Silifke, doğusunda Mersin yer almaktadır. Limonlu Kasabası Batısandallı Köyü ise ilçenin güneyinde denize yakın kıyı kesimindedir. Bu bölgenin tarihi çok eski olup çalışma alanı içerisinde Roma döneminden kalan birçok antik kent bulunmaktadır. Alanda ayrıca Roma döneminden kalan su kemerleri ve su kanalları mevcuttur [5]. Bölgede %46'sı normal kapalı, %54'ü boşluklu kapalı toplam 92.672 ha orman alanı bulunmaktadır [6]. Alanın yükseltisi deniz seviyesinden başlayarak 0-800 m'ler arasında, bakışı ise güneydir. Yağışlar genellikle kışın olur. Çalışma sahası iklimi, kurak-az nemli, mezotermal, su noksanı yaz mevsiminde ve çok şiddetli olan, okyanus tesirine yakın tali iklim sınıfındadır [7, 8].

Araştırmanın materyalini 2025-2026 yılları arasında yapılan arazi çalışmalarında incelenen yörenin doğal bitki örnekleri oluşturmaktadır. Bu bitki örneklerine ait kullanım bilgilerinin saptanması için yörede yaşayan insanlardan alınan bilgiler de çalışmamız için önemli bir materyaldir. ODOÜ olarak kullanımı saptanan türlerin teşhisi ve adlarının yazımında Türkiye'nin Bütün Ağaç ve Çalıları [9], Türkiye Bitkileri Listesi [10] adlı eserlerden yararlanılmıştır.

3. BULGULAR

2025-2026 yıllarında toplam 8 arazi gezisi, 3 Çarşı-Pazar araştırması yapılmış ve toplamda 38 kişi ile odun dışı orman ürünlerinin kullanımı, kullanılan kısımları ve kullanım şekilleri hakkında röportajlar gerçekleştirilerek alınan bilgiler kaydedilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda alanda odun dışı orman ürünü olarak kullanıma sahip olan 12 adet bitki tespit edilmiştir.

Akdeniz defnesi (*Laurus nobilis* L.)

Yöresel adı: Teynel

Yöresel kullanımı: Taze sürgünler bağlar halinde pazarda satılır. Yaprakları öksürük geçirmek amacıyla kaynatılarak içilir, yemeklerde lezzet-koku vermesi için baharat olarak kullanılır. Yaprakları böcek gelmemesi için kuru bakliyat arasına koyulur. Meyvesinden yağ elde edilir, bu yağın romatizma ağrılarına iyi geldiği bilinir. Defne yağı zeytinyağı ile karıştırılarak sabun yapılır, pazarda kalıplar halinde satılır. Defne yağından yapılan sabun saç dökülmesine, ciltte oluşan yaralara ve egzamaya karşı kullanılmaktadır.

Kekik otu (*Origanum majorana* L.)

Yöresel adı: Anababa kokusu, Beyaz Kekik

Yöresel kullanımı: Taze yapraklı sürgünleri güvelenmemesi için yatak-yorgan arasına konur. Çiçekli ve yapraklı sürgünleri kaynatılır, damıtma işleminden sonra elde edilen saf suyu mide rahatsızlıklarına karşı içilmektedir. Yapraklarının kaynatılması ile elde edilen yağı; ağrı kesici olarak ağrıyan bölge üzerine sürülmektedir.

Keçiboynuzu (*Ceratonia siliqua* L.)

Yöresel adı: Haraç, Harnup

Yöresel kullanımı: Meyvesi çerez olarak yenir, pekmez yapılır. Pekmezi öksürük tedavisi için yenmektedir. Pekmezi yapılırken çıkan posası ise hayvanlara yem olarak verilir. Meyvesi dövülerek elde edilen tozdan keçiboynuzu kahvesi yapılmaktadır.

Ceviz (*Juglas regia* L.)

Yöresel adı: Ceviz

Yöresel kullanımı: Yağlı tohumu vücut direncini arttırmak ve beyin gelişimini desteklemek amacıyla yenir. Meyvesi kolesterol hastalığının tedavisi için suyun içine bir gece öncesinden ıslatılıp sabahına içilir. Meyvenin içerisindeki ince zarların kaynatılıp içilmesi öksürüğe iyi gelmektedir. Meyvenin kabuğu kaynatılarak suyu saç beslemesi ve renk vermesi için saç boyası ve kınanın hazırlanmasında kullanılır.

Biberiye (*Rosmarinus officinalis* L.)

Yöresel adı: Biberiye

Yöresel kullanımı: Yaprakları et yemeklerinde lezzet-koku vermesi için baharat olarak kullanılır. Yaprakları kaynatılarak şekeri düşürmek için içilir. Yapraklı sürgünleri kaynatılıp elde edilen suyu saç dökülmesine karşı kullanılır, saçın daha hızlı uzamasını sağladığı için kozmetik alanında da kullanımı yaygındır.

Alıç (*Crataegus orientalis* Pall. ex M.Bieb. subsp. *orientalis*)

Yöresel adı: Beyaz Alıç

Yöresel kullanımı: Meyveleri kaynatılarak kalp hastalıkları tedavisi için içilir. Meyvelerinden hazırlanan alıç sirkesi kalp rahatsızlıkları ve damar tıkanıklıklarına karşı kullanılmaktadır.

Zeytin (*Olea europaea* L.)

Yöresel adı: Zeytin

Yöresel kullanımı: Meyvesi yeşil ve siyah olmak üzere sofralık olarak hazırlanır. Meyveleri sıkılarak zeytinyağı yapılır. Meyvesinden elde edilen yağ sabun yapımında kullanılır, bu sabun cilt rahatsızlıklarına karşı kullanılmaktadır.

Kermes meşesi (*Quercus coccifera* L.)

Yöresel adı: Çevit, pinar, piynar

Yöresel kullanımı: Meyveleri (palamutları) kaynatılıp suyu mide rahatsızlıklarına karşı içilir. Palamudun dışında bulunan kupula kısmı dövülüp ince toz haline getirildikten sonra yaraların iyileştirilmesi amacıyla yatak yaralarının üstüne serpiştirilir.

Karaçam (*Pinus nigra* J.F.Arnold subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe.)

Yöresel adı: Çam

Yöresel kullanımı: Henüz olgunlaşmamış kozalakları yaş haldeyken toplanıp kaynatılır ve kozalak şurubu yapılır. Bu şurup mide ağrılarına, akciğer rahatsızlıklarına, şeker hastalığına, soğuk algınlığına ve öksürüğe iyi gelir. Reçinesi yara kremleri yapımında kullanılır. Reçinesi inek sütüyle birlikte kaynatılarak yapılan karışım, kırık ve çıkıkların iyileştirilmesi amacıyla

merhem gibi sürülür. İbrelere ve kozalakları kuruyup döküldüğünde toplanarak ateş yakmada tutuşturucu olarak kullanılır.

Dağ Eriği (*Prunus spinosa* L.)

Yöresel adı: Dağ eriği

Yöresel kullanımı: Meyvelerinden sirke yapılır. Pazarda dağ eriği sirkesi adıyla satılan sirke şeker hastalığında şeker düşürücü olarak tüketilmektedir.

Kantaron Otu (*Hypericum perforatum* L.)

Yöresel adı: Kantaron Otu

Yöresel kullanımı: Kantaron dalları küçük parçalara ayrılarak kavanoza koyulur üzerinden zeytinyağı dökülerek 40 gün karanlık odada bekletilir. Bu şekilde hazırlanan kantaron yağı cilt yanıklarına, kesiklere, ciltte oluşan dikiş izlerine iyi gelir.

Menengiç (*Pistacia terebinthus* L. subsp. *palaestina* (Boiss.) Engler)

Yöresel adı: Menengiç

Yöresel kullanımı: Meyveleri toplanarak kurutulur, sonrasında kavrulup çerez olarak tüketilir. Toplanıp kurutulan meyve çerez olarak tüketilmeyecekse aktara götürülüp oradan menengiç kahvesi ile takas yapılabilir. Sürgünleri kaynatılarak suyu öksürüğü geçirmek amacıyla içilir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Odun dışı orman ürünlerinin sağladığı çok yönlü (ekonomik, sosyal, çevresel) faydaların önemi ve orman kaynaklarının yönetiminde bu kaynaklara yeterli önemin verilmesi gerekliliği konularında dünyada bilinçlenme ve ilginin son yıllarda arttığı görülmektedir. Bazı ülkelerde veya ülkelerin bazı yörelerinde odun ürünlerinden daha fazla katkı sağlamakta olduğu, bazı ülkelerde dış ticarete önemli gelir kaynakları arasında yer aldığı bilinmektedir.

Defne, kekik, biberiye ve çam gibi türlerin daha çok tıbbi amaçlarla; keçiboynuzu, zeytin ve ceviz gibi türlerin ise besin değeri ve yan ürünleri ile ön plana çıktığı görülmüştür. Ayrıca bazı türlerin geleneksel tedavi yöntemleri ile günlük yaşamda farklı amaçlarla kullanılması, yöre halkının doğayla kurduğu güçlü ilişkiyi ve sahip olduğu bilgi birikimini göstermektedir.

Ancak odun dışı orman ürünlerinin bilinçsiz ve aşırı toplanması, bu doğal kaynakların geleceği açısından büyük risk oluşturmaktadır. Bu nedenle söz konusu ürünlerin korunması, sürdürülebilir kullanım esaslarına göre değerlendirilmesi ve bu konuda bilinçlendirme çalışmalarının yapılması büyük önem taşımaktadır.

Sonuç olarak, Erdemli ilçesi, Batısandallı-Limonlu yöresindeki odun dışı orman ürünlerinin hem ekolojik hem de sosyo-ekonomik açıdan oldukça önemli olduğu görülmüştür. Bu konuda yapılan çalışmaların artırılması, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlayacak kaydedilen bilgilerin gelecek nesillere aktarılmasına yardımcı olacaktır.

KAYNAKÇA

- [1] DPT, *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Ormancılık Özel İhtisas Komisyonu Raporu*, DPT:2531, ÖİK: 547, 553 s., ISBN 975.19, 2555, Ankara, 2001.
- [2] Birben, Ü., İmal, B., Özden, S., Öner, N., Ilgaz (Çankırı)'da Bazı Odun Dışı Orman Ürünlerinin Sürdürülebilir Kullanımı ve Yöre Ekonomisine Katkılarının Değerlendirilmesi. *Tabiat ve İnsan Dergisi*, 2, 7-16, 2008.
- [3] Sezik, E., *Tıbbi ve Aromatik Bitkiler ve Kalite*, İnönü Üniversitesi Tıbbi ve Aromatik Bitkilerin Eczacılık ve Ormancılıktaki Önemi Çalıştayı, Malatya, 2014.
- [4] Arslan, N., Genel Tıbbi Bitkiler Ders Notları (Basılmamış kitap /Online), 2007.
- [5] Ünver, A., *Lamas Çayı Çevresindeki Köylerde (Erdemli, Silifke/Mersin) Etnobotanik Araştırmalar*. T.C. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, 2019.
- [6] <https://odundisiurunler.ogm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 13.01.2025).
- [7] Demirağ Turan, İ., Dengiz, O., Arslan, E. Mersin-Erdemli İlçesi Limon Bahçelerinin Zamansal ve Alansal Değişimlerin Uzaktan Algılama ve CBS ile Belirlenmesi. *ÇOMÜ Zir. Fak. Derg.*, 12 (2): 240-252, 2024.
- [8] Karabulut, M., Korkmaz, H., Gürbüz, M. Uzaktan algılama ve cbs kullanarak göksu deltası sulak alanları ve çevresinde meydana gelen zamansal değişimlerin incelenmesi ve sulak alan bitkilerinin spektral özelliklerinin belirlenmesi, Tübitak Proje: 110Y295, 2013.
- [9] Akkemik, Ü. (ed.), *Türkiye'nin Bütün Ağaçları ve Çalıları*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları (4.Basım), İstanbul, 2024.
- [10] Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. ve Babaç, M.T., *Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)*, Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul, 2012.

BİYO-YUMAK ENTEGRE AKVAKÜLTÜR SİSTEMLERİNDE OLUŞAN ATIK SULARDA DENİZ YOSUNLARI VE *SALICORNIA SP. TÜRLERİNİN* YETİŞTİRİCİLİĞİ

Mühendis Nima DADMEHR

Ege Üniversitesi

dadmehr.nima.89@gmail.com- ORCID ID: 0009-0006-2994-1244

Doç. Dr. Gamze TURAN

Ege Üniversitesi

gamze.turan@ege.edu.tr- ORCID ID: 0000-0002-3610-6347

ÖZET

Biyoflok Teknolojisi (Biofloc Technology, BFT), su kalitesini iyileştirmesi ve su tüketimini azaltması nedeniyle akuakültürde çevre dostu bir üretim yöntemi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, biyoflok sistemlerinde nitrat ve fosfat gibi besin maddeleri zamanla birikmekte ve uygun şekilde yönetilmediğinde su kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle, söz konusu besin maddelerinin biyolojik yöntemlerle geri kazanılması hem çevresel sürdürülebilirlik hem de kaynakların verimli kullanımı açısından önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, biyoflok entegre akuakültür sistemlerinden elde edilen atık suda deniz marulu (*Ulva sp.*) ile halofit bir bitki olan *Salicornia sp.*'nin yetiştirilmesi araştırılacaktır. Çalışmanın temel amacı, bu iki türün çözünmüş besin maddelerini uzaklaştırma potansiyelini değerlendirenken aynı zamanda ekonomik değere sahip biyokütle üretimini incelemektir. Araştırma kapsamında kontrollü laboratuvar koşullarında deney üniteleri kurulacak ve amonyum, nitrit, nitrat ile fosfat konsantrasyonlarının yanı sıra temel su kalite parametreleri düzenli olarak takip edilecektir. Ayrıca her iki türün biyokütle üretimi ve büyüme performansı değerlendirilecektir.

Bu çalışmanın sonunda, biyoflok atık suyundan besin maddelerinin daha etkin şekilde uzaklaştırılması, değerli biyokütle üretimi ve *Ulva sp.* ile *Salicornia sp.*'nin biyoflok tabanlı akuakültür sistemlerine entegre edilebilirliğine ilişkin bilimsel verilerin elde edilmesi beklenmektedir. Elde edilecek bulguların, besin maddelerinin geri kazanımını destekleyerek akuakültür kaynaklı atık suların çevresel etkisinin azaltılmasına ve daha sürdürülebilir akuakültür uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlaması öngörülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyoflok Teknolojisi, Entegre Akuakültür, *Ulva sp.*, *Salicornia sp.*, Akuakültür Atık Suyu, Besin Maddesi Giderimi

1. GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, dünya nüfusunun artması, hayvansal protein talebinin yükselmesi ve doğal balık stoklarının azalması nedeniyle son yıllarda en hızlı büyüyen gıda üretim sektörlerinden biri hâline gelmiştir (FAO, 2024; Boyd et al., 2020). Ancak üretim kapasitesindeki bu hızlı artış, su tüketimi, çevresel etkiler ve atık yönetimi gibi önemli çevresel sorunları da beraberinde getirmektedir (Boyd et al., 2020). Özellikle tatlı su kaynaklarının giderek azalması ve çevresel sürdürülebilirliğin ön plana çıkması, akuakültürde daha verimli, sürdürülebilir ve çevre dostu üretim sistemlerinin geliştirilmesini zorunlu hâle getirmiştir (FAO, 2024; Martins et al., 2010).

Bu kapsamda Resirkülasyon Akuakültür Sistemleri (**Recirculating Aquaculture Systems; RAS**), suyun mekanik ve biyolojik filtrelerden geçirilerek yeniden kullanılmasına olanak sağlaması nedeniyle son yıllarda yaygın olarak tercih edilmektedir (Badiola et al., 2012; Martins et al., 2010). RAS sistemleri, su tüketimini önemli ölçüde azaltmasının yanı sıra yetiştiricilik koşullarının daha kontrollü şekilde yönetilmesine de imkân vermektedir (Badiola et al., 2012). Bununla birlikte, sistem içerisinde gerçekleşen biyolojik süreçler sonucunda çözünmüş azot ve fosfor bileşikler zamanla birikebilmekte, bu durum uzun süreli işletmelerde su kalitesinin korunmasını zorlaştırabilmektedir (Martins et al., 2010). Özellikle nitrat ve fosfat konsantrasyonlarının yükselmesi, düzenli su değişimini gerekli kılmakta ve sistemin çevresel sürdürülebilirliğini sınırlandırabilmektedir (Ramli et al., 2020; Huang et al., 2024).

Akuakültürde su kalitesinin korunmasına yönelik geliştirilen yaklaşımlardan biri de **Biyoflok Teknolojisi (Biofloc Technology; BFT)**'dir. BFT sistemi, heterotrofik mikroorganizmaların organik maddeleri ve çözünmüş azot bileşiklerini mikrobiyal biyokütleye dönüştürmesini temel almakta; bu sayede hem su kalitesinin korunmasına hem de ilave doğal yem kaynağı oluşmasına katkı sağlamaktadır (Crab et al., 2012; Emerenciano et al., 2013; Hargreaves, 2013). Bununla birlikte, BFT sistemlerinde özellikle nitrat ve fosfat gibi çözünmüş besin maddelerinin tamamen uzaklaştırılması her zaman mümkün olmayabilmektedir (Ray et al., 2011; Schweitzer et al., 2013). Bu nedenle, sistemde biriken besin maddelerinin çevreye verilmeden önce biyolojik yollarla geri kazanılması ve değerlendirilmesi sürdürülebilir akuakültür açısından büyük önem taşımaktadır (Ramli et al., 2020; Huang et al., 2024).

Son yıllarda **Entegre Çok Trofikli Akuakültür (Integrated Multi-Trophic Aquaculture; IMTA)** yaklaşımı, farklı trofik düzeylerde yer alan organizmaların aynı sistem içerisinde değerlendirilmesine olanak sağlayarak sürdürülebilir üretim modelleri arasında önemli bir yer edinmiştir (Chopin et al., 2001; Neori et al., 2004; Troell et al., 2003). IMTA sistemlerinde yetiştirilen deniz yosunları ve halofit bitkiler, çözünmüş azot ve fosfor bileşiklerini bünyelerine alarak hem suyun biyolojik olarak arıtılmasına hem de ekonomik değere sahip biyokütle üretimine katkıda bulunmaktadır (Quinta et al., 2015; Nederlof et al., 2022; Jerónimo et al., 2021). Bu yaklaşım yalnızca çevresel etkilerin azaltılmasını değil, aynı zamanda besin maddelerinin geri kazanımını, döngüsel üretim anlayışının desteklenmesini ve akuakültür sistemlerinin sürdürülebilirliğinin artırılmasını da hedeflemektedir (Khanjani et al., 2022; Zhu et al., 2025; Nishanth et al., 2025).

Deniz marulu (*Ulva* sp.), yüksek büyüme hızı, geniş çevresel toleransı ve çözünmüş besin maddelerini etkin şekilde kullanabilme kapasitesi nedeniyle akuakültür atık sularının biyolojik arıtımında yaygın olarak araştırılan makroalg türlerinden biridir (**Nederlof et al., 2022; Carvalho et al., 2023; Theobald et al., 2024**). Ayrıca, *Ulva* türleri yüksek biyokütle üretim potansiyelleri sayesinde yalnızca besin maddelerinin uzaklaştırılmasına değil, aynı zamanda ekonomik değeri olan biyokütlenin elde edilmesine de katkı sağlamaktadır (**Carvalho et al., 2024; Soares et al., 2025**).

Benzer şekilde, tuzluluğa dayanıklı bir halofit bitki olan *Salicornia* sp., besin maddelerince zengin sularda yetiştirilebilmesi, azot ve fosfor bileşiklerini etkin şekilde bünyesine alabilmesi ve ekonomik değere sahip biyokütle oluşturabilmesi nedeniyle sürdürülebilir akuakültür uygulamalarında dikkat çeken türler arasında yer almaktadır (**Quinta et al., 2015; Jerónimo et al., 2021**). Bu iki organizmanın aynı sistem içerisinde değerlendirilmesi, hem su kalitesinin iyileştirilmesi hem de besin maddelerinin geri kazanılması açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır (**Ramli et al., 2020; Nederlof et al., 2022; Khanjani et al., 2022**).

Bu araştırmada, **RAS çıkış suyunun BFT tabanlı bir sistem ile entegre edilen *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp. kullanılarak değerlendirilmesi** planlanmaktadır. Çalışmanın, su kalitesinin iyileştirilmesi, besin maddelerinin biyolojik yollarla geri kazanılması ve su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına yönelik bilimsel verilerin ortaya konulmasına katkı sağlaması beklenmektedir (**Huang et al., 2024; Nishanth et al., 2025**). Ayrıca elde edilecek bulguların, gelecekte IMTA tabanlı sürdürülebilir akuakültür sistemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalara bilimsel altyapı oluşturacağı öngörülmektedir (**Zhu et al., 2025; Khanjani et al., 2022**).

2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu araştırmanın temel amacı, **Resirkülasyon Akuakültür Sistemlerinden (RAS)** elde edilen çıkış suyunun biyolojik yöntemlerle değerlendirilerek su kalitesinin iyileştirilmesi ve yeniden kullanım potansiyelinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, RAS çıkış suyunun **Biyoflok Teknolojisi (Biofloc Technology; BFT)**, deniz marulu (*Ulva* sp.) ve halofit bir bitki olan *Salicornia* sp.'yi içeren entegre bir sistemde kullanılması planlanmaktadır (**Ramli et al., 2020; Turan et al., 2024**).

Çalışmada öncelikle, söz konusu entegre sistemin çözünmüş azot ve fosfor bileşiklerinin uzaklaştırılmasındaki etkinliğinin belirlenmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda amonyum (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-) ve fosfat (PO_4^{3-}) konsantrasyonlarındaki değişimler düzenli olarak izlenecek ve sistemin su kalitesi üzerindeki etkisi değerlendirilecektir (**Huang et al., 2024; Raza et al., 2025**).

Araştırmanın bir diğer amacı ise *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'nin biyokütle üretim performansını ortaya koymaktır. Böylece, bu türlerin yalnızca biyolojik arıtım amacıyla değil, aynı zamanda ekonomik değere sahip biyokütle üretimi açısından da değerlendirilme potansiyeli incelenecektir (**Carvalho et al., 2023; Carvalho et al., 2024; Soares et al., 2025**).

Bunun yanı sıra, arıtılan suyun tekrar RAS sisteminde kullanılabilirliği değerlendirilerek su kaynaklarının daha verimli kullanılması hedeflenmektedir. Böylece hem çevresel etkilerin

azaltılması hem de akuakültürde sürdürülebilir ve döngüsel üretim anlayışının desteklenmesine yönelik bilimsel verilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır (Nishanth et al., 2025; Ramli et al., 2020).

Sonuç olarak bu çalışma, **RAS, BFT, *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'**yi aynı sistem içerisinde bir araya getirerek besin maddelerinin geri kazanımını destekleyen yenilikçi bir yaklaşım ortaya koymayı ve gelecekte **Entegre Çok Trofikli Akuakültür (Integrated Multi-Trophic Aquaculture; IMTA)** uygulamalarına katkı sağlayabilecek bilimsel bir altyapı oluşturmayı amaçlamaktadır (Troell et al., 2003; Nederlof et al., 2022; Zhu et al., 2025).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma, **Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi** bünyesinde kontrollü laboratuvar koşullarında yürütülecek deneysel bir araştırmadır. Araştırmada, **Resirkülasyon Akuakültür Sisteminden (RAS)** elde edilen çıkış suyu, **Biyoflok Teknolojisi (Biofloc Technology; BFT)**, *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'yi içeren entegre deney sistemine aktarılacaktır (Carvalho et al., 2024; Ramli et al., 2020).

Deney süresince sistemde bulunan *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'nin gelişimi düzenli olarak takip edilecek ve biyokütle artışları belirli periyotlarda ölçülecektir (Carvalho et al., 2023; Carvalho et al., 2025). Aynı zamanda su kalitesini değerlendirmek amacıyla amonyum (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-), fosfat (PO_4^{3-}), çözülmüş oksijen, sıcaklık, pH ve tuzluluk gibi temel su kalite parametreleri düzenli aralıklarla analiz edilecektir (APHA, 2017; Huang et al., 2024).

Elde edilen veriler kullanılarak entegre sistemin besin maddelerinin giderimi üzerindeki etkisi değerlendirilecek, ayrıca *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'nin biyolojik arıtım sürecine katkısı ortaya konulacaktır (Nederlof et al., 2022; Quinta et al., 2015). Çalışma sonunda elde edilen tüm veriler uygun istatistiksel yöntemlerle analiz edilerek sistemin etkinliği bilimsel açıdan değerlendirilecektir.

Bu araştırmada kullanılan deneysel yaklaşım, biyolojik arıtma ile ekonomik değeri bulunan biyokütle üretimini aynı sistem içerisinde birleştiren entegre bir model olarak tasarlanmıştır. Bu yönüyle çalışma, sürdürülebilir akuakültür uygulamalarına yönelik yenilikçi bir yaklaşımın değerlendirilmesini amaçlamaktadır (Troell et al., 2003; Zhu et al., 2025).

4. BEKLENEN SONUÇLAR

Bu araştırmanın henüz deneysel aşaması tamamlanmamış olmakla birlikte, kurulacak entegre sistem sayesinde su kalitesinde önemli iyileşmeler elde edilmesi beklenmektedir. Özellikle **Biyoflok Teknolojisi (BFT)**, *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'nin birlikte kullanılmasıyla, RAS çıkış suyunda bulunan çözülmüş besin maddelerinin biyolojik yollarla daha etkin şekilde uzaklaştırılabileceği öngörülmektedir (Ramli et al., 2020; Nederlof et al., 2022; Huang et al., 2024).

Çalışma sonucunda amonyum (NH_4^+), nitrit (NO_2^-), nitrat (NO_3^-) ve fosfat (PO_4^{3-}) konsantrasyonlarında anlamlı düzeyde azalma meydana gelmesi beklenmektedir. Bunun yanı sıra, su kalitesi parametrelerinde sağlanacak iyileşmenin hem yetiştiricilik ortamının

sürdürülebilirliğine hem de suyun yeniden kullanım potansiyeline olumlu katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Martins et al., 2010; Badiola et al., 2012; Raza et al., 2025).

Araştırma kapsamında yetiştirilecek *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'nin sudaki çözünmüş besin maddelerini kullanarak biyokütle oluşturmaları beklenmektedir. Böylece hem besin maddelerinin geri kazanımı desteklenecek hem de ekonomik değere sahip biyokütle üretimi açısından sistemin uygulanabilirliği değerlendirilebilecektir (Carvalho et al., 2023; Carvalho et al., 2024; Soares et al., 2025).

Elde edilmesi beklenen bulguların, RAS ve BFT tabanlı sistemlerde atık su yönetimine yönelik sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine katkı sağlaması ve gelecekte **Entegre Çok Trofikli Akuakültür (IMTA)** uygulamalarına bilimsel altyapı oluşturmaları öngörülmektedir (Troell et al., 2003; Zhu et al., 2025; Khanjani et al., 2022).

5. SWOT ANALİZİ

Bu çalışmanın güçlü yönlerinden biri, **RAS, BFT, *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.**'yi aynı sistem içerisinde bir araya getirerek su kalitesinin iyileştirilmesi ile besin maddelerinin geri kazanımını birlikte değerlendirmesidir. Bu yaklaşım, hem çevresel sürdürülebilirliği desteklemesi hem de su kaynaklarının daha verimli kullanılmasına katkı sağlaması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır (Troell et al., 2003; Ramli et al., 2020; Zhu et al., 2025). Ayrıca ekonomik değere sahip biyokütle üretimi potansiyeli, sistemin akuakültür sektörü açısından uygulanabilirliğini artıracak unsurlar arasında yer almaktadır (Carvalho et al., 2024; Soares et al., 2025).

Bununla birlikte, araştırmanın henüz deneysel aşamada olması nedeniyle sistem performansına ilişkin kesin sonuçlar bulunmamaktadır. Farklı çevresel koşullar, yetiştirme ortamı ve türlerin adaptasyon süreçleri elde edilecek sonuçları etkileyebilecek faktörler arasında değerlendirilmektedir. Ayrıca sistemin kurulumu ve işletilmesi sırasında oluşabilecek teknik gereksinimler ile başlangıç maliyetleri uygulama sürecinde dikkate alınması gereken sınırlılıklar olarak öne çıkmaktadır.

Öte yandan, sürdürülebilir üretim sistemlerine yönelik ilginin artması, su kaynaklarının korunmasına yönelik ulusal ve uluslararası politikaların güçlenmesi ve besin maddelerinin geri kazanımına yönelik araştırmaların yaygınlaşması bu çalışmanın önemli fırsatlarını oluşturmaktadır (FAO, 2024; Khanjani et al., 2022; Nishanth et al., 2025). Buna karşılık, iklim değişikliği, çevresel koşullardaki değişimler ve üretim maliyetlerindeki artış gibi dış etkenler gelecekte sistemin uygulanabilirliğini etkileyebilecek potansiyel tehditler arasında değerlendirilmektedir (Boyd et al., 2020).

6. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ

Günümüzde akuakültür sektöründe sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının geliştirilmesi, yalnızca üretim miktarının artırılması açısından değil, aynı zamanda doğal kaynakların korunması ve çevresel etkilerin azaltılması bakımından da büyük önem taşımaktadır (FAO, 2024; Boyd et al., 2020). Bu doğrultuda, atık suların biyolojik yöntemlerle değerlendirilmesi ve yeniden kullanılabilir hâle getirilmesi, sürdürülebilir akuakültür uygulamalarının temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir (Martins et al., 2010; Ramli et al., 2020).

Bu çalışma, RAS çıkış suyunun BFT, *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp. içeren entegre bir sistemde değerlendirilmesini hedefleyerek besin maddelerinin geri kazanımı ile suyun yeniden kullanımına yönelik bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır (Nederlof et al., 2022; Zhu et al., 2025). Çalışmanın yalnızca su kalitesinin iyileştirilmesine değil, aynı zamanda ekonomik değere sahip biyokütle üretimine katkı sağlaması da beklenmektedir (Carvalho et al., 2024; Soares et al., 2025).

Araştırmanın bir diğer önemli yönü ise **Entegre Çok Trofikli Akuakültür (Integrated Multi-Trophic Aquaculture; IMTA)** yaklaşımını destekleyen bilimsel verilerin elde edilmesine katkı sağlayabilecek olmasıdır. Besin maddelerinin farklı trofik düzeylerdeki organizmalar tarafından değerlendirilmesi, döngüsel üretim anlayışını güçlendirebilir ve akuakültür işletmelerinde çevresel sürdürülebilirliğin artırılmasına yardımcı olabilir (Troell et al., 2003; Khanjani et al., 2022; Nishanth et al., 2025).

Elde edilmesi beklenen bulguların, gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalara yol göstermesi ve sürdürülebilir akuakültür sistemlerinin geliştirilmesine katkı sunması açısından önemli bir bilimsel kaynak oluşturacağı değerlendirilmektedir (FAO, 2024; Zhu et al., 2025).

7. SONUÇ

Bu çalışma, **Resirkülasyon Akuakültür Sistemlerinden (RAS)** elde edilen çıkış suyunun **Biyoflok Teknolojisi (Biofloc Technology; BFT)**, *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp. kullanılarak biyolojik olarak değerlendirilmesine yönelik bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır. Araştırma kapsamında önerilen entegre sistem ile su kalitesinin iyileştirilmesi, çözünmüş besin maddelerinin geri kazanılması ve ekonomik değere sahip biyokütle üretiminin birlikte değerlendirilmesi amaçlanmaktadır (Ramli et al., 2020; Nederlof et al., 2022).

DeneySEL çalışmaların tamamlanmasının ardından elde edilecek bulguların, sistemin su kalitesi üzerindeki etkisini ortaya koyması ve arıtılan suyun yeniden kullanım potansiyeline ilişkin bilimsel veriler sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, *Ulva* sp. ve *Salicornia* sp.'nin biyolojik arıtım sürecindeki etkinliğinin belirlenmesiyle, bu türlerin sürdürülebilir akuakültür uygulamalarındaki kullanım olanaklarının daha kapsamlı şekilde değerlendirilmesi mümkün olacaktır (Carvalho et al., 2023; Carvalho et al., 2024).

Araştırmanın, besin maddelerinin geri kazanımı, su kaynaklarının verimli kullanımı ve çevresel sürdürülebilirlik konularına katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Bunun yanı sıra, RAS ve BFT tabanlı sistemlerin **Entegre Çok Trofikli Akuakültür (Integrated Multi-Trophic Aquaculture; IMTA)** yaklaşımı ile desteklenmesine yönelik yeni uygulamalara bilimsel altyapı oluşturması beklenmektedir (Troell et al., 2003; Zhu et al., 2025).

Sonuç olarak, bu çalışmanın yalnızca mevcut araştırmaya değil, aynı zamanda sürdürülebilir akuakültür teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik gelecekte gerçekleştirilecek bilimsel çalışmalara da katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir (FAO, 2024; Khanjani et al., 2022).

Kaynakça

Avnimelech, Y. (2015). *Biofloc Technology: A Practical Guide Book* (3rd ed.). Baton Rouge, LA: World Aquaculture Society.

- Badiola, M., Mendiola, D., & Bostock, J. (2012). Recirculating aquaculture systems (RAS): Main issues on management and future challenges. *Aquacultural Engineering*, 51, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.07.004>
- Boyd, C. E., D'Abramo, L. R., Glencross, B. D., Huyben, D. C., Juarez, L. M., Lockwood, G. S., McNevin, A. A., Tacon, A. G. J., Teletchea, F., Tomasso, J. R., Tucker, C. S., & Valenti, W. C. (2020). Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3), 578–633. <https://doi.org/10.1111/jwas.12714>
- FAO. (2024). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation in Action*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Martins, C. I. M., Eding, E. H., Verdegem, M. C. J., Heinsbroek, L. T. N., Schneider, O., Blancheton, J. P., Roque d'Orbcastel, E., & Verreth, J. A. J. (2010). New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, 43(3), 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>
- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 356–357, 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.04.046>
- Emerenciano, M. G. C., Gaxiola, G., & Cuzon, G. (2013). Biofloc Technology (BFT): A Review for Aquaculture Application and Animal Food Industry. In M. D. Matovic (Ed.), *Biomass Now – Cultivation and Utilization*. InTech. <https://doi.org/10.5772/53902>
- Hargreaves, J. A. (2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture. *Southern Regional Aquaculture Center (SRAC Publication No. 4503)*, 1–11.
- Ray, A. J., Dillon, K. S., & Lotz, J. M. (2011). Water quality dynamics and shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production in intensive mesohaline culture systems with two levels of biofloc management. *Aquacultural Engineering*, 45(3), 127–136. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2011.09.001>
- Schveitzer, R., Arantes, R., Costódio, P. F. S., Espírito Santo, C. M., Arana, L. V., Seiffert, W. Q., & Andreatta, E. R. (2013). Effect of different biofloc levels on microbial activity, water quality and performance of *Litopenaeus vannamei* in a tank system operated with no water exchange. *Aquacultural Engineering*, 56, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2013.04.006>
- Chopin, T., Buschmann, A. H., Halling, C., Troell, M., Kautsky, N., Neori, A., Kraemer, G. P., Zertuche-González, J. A., Yarish, C., & Neefus, C. (2001). Integrating seaweeds into marine aquaculture systems: A key toward sustainability. *Journal of Phycology*, 37(6), 975–986. <https://doi.org/10.1046/j.1529-8817.2001.01137.x>

Neori, A., Chopin, T., Troell, M., Buschmann, A. H., Kraemer, G. P., Halling, C., Shpigel, M., & Yarish, C. (2004).

Integrated aquaculture: Rationale, evolution and state of the art emphasizing seaweed biofiltration in modern mariculture.

Aquaculture, 231(1–4), 361–391. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2003.11.015>

Moreira, R., Costa, E., Melo, T., Sulpice, R., Cardoso, S. M., Pereira, R., Abreu, M. H., Domingues, P., Calado, R., & Domingues, M. R. M. (2022).

The underexplored potential of green macroalgae in aquaculture.

Reviews in Aquaculture, 14, 5–41. <https://doi.org/10.1111/raq.12580>

Zhu, Y., Wang, N., Wu, Z., Chen, S., Luo, J., Christakos, G., & Wu, J. (2025).

The Role of Seaweed Cultivation in Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA): The Current Status and Challenges.

Reviews in Aquaculture, 17(3), e70042. <https://doi.org/10.1111/raq.70042>

Khanjani, M. H., Sharifinia, M., & Emerenciano, M. G. C. (2022).

Integrated multitrophic aquaculture (IMTA) as an environmentally friendly system for sustainable aquaculture: Functionality, species, and application of biofloc technology.

Environmental Science and Pollution Research, 29, 67513–67531.

<https://doi.org/10.1007/s11356-022-22371-8>

Nederlof, M. A. J., Verdegem, M. C. J., Smaal, A. C., & Jansen, H. M. (2022).

Nutrient retention efficiencies in integrated multi-trophic aquaculture.

Reviews in Aquaculture, 14, 1194–1212. <https://doi.org/10.1111/raq.12645>

Quinta, R., Santos, R., Thomas, D. N., & Le Vay, L. (2015).

Growth and nitrogen uptake by *Salicornia europaea* and *Aster tripolium* in nutrient conditions typical of aquaculture wastewater.

Ecological Engineering, 75, 388–392. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.11.045>

Ramli, N. M., Verreth, J. A. J., Yusoff, F. M., Nurulhuda, K., Nagao, N., & Verdegem, M. C. J. (2020). Integration of algae to improve nitrogenous waste management in recirculating aquaculture systems: A review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 8, 1004. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.01004>

Nederlof, M. A. J., Noori, A., Verdegem, M. C. J., Smaal, A. C., & Jansen, H. M. (2022). *Ulva* spp. performance and biomitigation potential under high nutrient concentrations: Implications for recirculating IMTA systems. *Journal of Applied Phycology*, 34(5), 2157–2171. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02751-w>

Jerónimo, D., Lillebø, A. I., Cremades, J., Cartaxana, P., & Calado, R. (2021).

Recovering wasted nutrients from shrimp farming through the combined culture of polychaetes and halophytes.

Scientific Reports, 11, 6587. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85922-y>

Turan, G., Carvalho Chagas, A., Costa, C. S. B., Wasielesky Jr., W., & da Silva Poersch, L. H. (2024).

Impact of the co-cultivation of macroalgae (*Ulva lactuca* f. *fasciata*) on the composition of biofloc in a zero water exchange system used for rearing Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*).

Crustaceana, 97(1–2). DOI: <https://doi.org/10.1163/15685403-bja10363>

Turan, G., Gonçalves, M. S., Ghiraldelli, L. A., Fóes, G. K., Krummenauer, D., & Costa, C. S. B. (2021). Biomass production of *Ulva* cf. *flexuosa* with clarified saline water from a marine shrimp BFT system. In *Proceedings of the 4th International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem 2021)* (pp. 801–807). Ankara, Türkiye, 24–26 November 2021. ISBN: 978-625-00-9586-7.

Carvalho, A., Costa, L. C. O., Holanda, M., Gonçalves, M., Santos, J., Costa, C. S. B., Turan, G., & Poersch, L. H. (2023). Growth of the macroalgae *Ulva lactuca* cultivated at different depths in a biofloc integrated system with shrimp and fish. *Phycology*, 3(2), 280–293. <https://doi.org/10.3390/phycolgy3020018>

Carvalho, A., Brandão, H., Zemor, J. C., Cardozo, A. P., Vieira, F. N., Okamoto, M. H., Turan, G., & Poersch, L. H. (2024). Effect of organic or inorganic fertilization on microbial flocs production in integrated cultivation of *Ulva lactuca* with *Oreochromis niloticus* and *Penaeus vannamei*. *Fishes*, 9(6), 191. <https://doi.org/10.3390/fishes9060191>

Carvalho, A., Müller, L., Rosas, V., Tesser, M. B., Ventura-Lima, J., Turan, G., Pias, M., & Poersch, L. H. (2025). Evaluation of the inclusion of the seaweed *Ulva lactuca* produced in an integrated system with biofloc in the diet of juvenile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Applied Sciences*, 15(12), 6410. <https://doi.org/10.3390/app15126410>

Huang, Y., Li, L., Li, R., Li, B., Wang, Q., & Song, K. (2024).

Nitrogen cycling and resource recovery from aquaculture wastewater treatment systems: A review.

Environmental Chemistry Letters, 22(5), 2467–2482. <https://doi.org/10.1007/s10311-024-01763-x>

Raza, B., Ramzan, M. N., & Yang, W. (2025).

A review: Improving aquaculture rearing water quality by removal of nutrients using microalgae, challenges and future prospects.

Aquaculture, 598, 741959. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741959>

Theobald, E. J., Irving, A. D., Capper, A., et al. (2024).

Selection of marine macroalgae for nutrient biofilter and bioproduct trials in the coastal waters of Queensland, Australia.

Aquaculture International, 32, 9631–9669. <https://doi.org/10.1007/s10499-024-01632-y>

Soares, F., Pousão-Ferreira, P., et al. (2025).

Integration of *Ulva ohnoi* in a Recirculating Aquaculture System for Gilthead Seabream (*Sparus aurata*) and Its Use as Feed for Sea Urchin (*Paracentrotus lividus*) Production: A Contribution to Circular and Sustainable Aquaculture Practices.

Fishes, 10(9), 447. <https://doi.org/10.3390/fishes10090447>

Nishanth, D., Somanathan Nair, C., Manoharan, R., Subramanian, R., Salim, I., Maqsood, S., & Jaleel, A. (2025).

Current technologies for nutrient recovery in aquaponic systems: A review.

Frontiers in Sustainable Food Systems, 9, 1681638.

<https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1681638>

Troell, M., Halling, C., Nilsson, A., Buschmann, A. H., Kautsky, N., & Kautsky, L. (2003).

Integrated mariculture: Asking the right questions.

Aquaculture, 226(1–4), 69–90.

[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00469-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00469-1)

Buschmann, A. H., Troell, M., Kautsky, N., & Kautsky, L. (2001).

Integrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis*.

Aquaculture, 221(1–4), 69–84.

[https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00015-2](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00015-2)

Abreu, M. H., Varela, D. A., Henriquez, L., Villarroel, A., Yarish, C., Sousa-Pinto, I., & Buschmann, A. H. (2009).

Traditional vs. integrated multi-trophic aquaculture of *Gracilaria chilensis*.

Aquaculture, 293(3–4), 211–220.

<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.03.043>

Yarish, C., Kim, J. K., & Pereira, R. (2017).

The importance of seaweed aquaculture in integrated multi-trophic aquaculture systems.

Journal of Applied Phycology, 29, 347–362.

Costa-Pierce, B. A. (2010).

Sustainable ecological aquaculture systems: The need for a new social contract for aquaculture development.

Marine Technology Society Journal, 44(3), 88–112.

<https://doi.org/10.4031/MTSJ.44.3.11>

LOJİSTİK 4.0 VE DİJİTAL İKİZ UYGULAMALARINDA YAPAY ZEKÂ VE BLOKZİNCİR ENTEGRASYONU: DEĞER ZİNCİRİ ŞEFFAFLIĞI ÜZERİNE BİR KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Tunahan POYRAZ

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM) Yüksek Lisans Programı
tunahanpoyraz35@gmail.com - 0009-0004-7373-9401

Doç. Dr. Volkan YAVAŞ

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM)
volkan.yavas@ege.edu.tr - 0000-0002-4237-6386

ÖZET

Küresel tedarik zincirleri, artan pazar volatilitesi, jeopolitik belirsizlikler ve karmaşıklaşan müşteri talepleri karşısında geleneksel reaktif modellerden proaktif ve otonom yapılara geçiş yapmak zorundadır. Endüstri 4.0 paradigması etrafında şekillenen Lojistik 4.0, nesnelerin interneti (IoT), büyük veri ve bulut bilişim gibi teknolojilerle tedarik ağlarını dijitalleştirirken; bu devasa veri yığınının anlamlandırılması Yapay Zekâ (YZ) algoritmalarına, verinin güvenliğinin ve değişmezliğinin sağlanması ise Blokzincir (Blockchain) teknolojisine dayanmaktadır. Bu bildiri, tedarik zinciri ve değer zinciri yönetiminde YZ ve Blokzincir teknolojilerinin entegre kullanımını teorik bir çerçevede incelemektedir. Çalışmanın temel amacı, yapay zekânın tahmine dayalı analitik kapasitesi ile blokzincirin sağladığı şeffaf ve manipüle edilemez veri altyapısının birleşiminin, Lojistik Merkezleri 4.0 vizyonunda nasıl sürdürülebilir bir rekabet avantajı yarattığını ortaya koymaktır. Özellikle havacılık, savunma ve otomotiv gibi ürün yaşam döngüsünün (PLM) kritik olduğu sektörlerde, akıllı sözleşmeler ve dijital ikiz uygulamalarının kamçı etkisini (bullwhip effect) nasıl sönümlediği detaylandırılmıştır. Metodolojik olarak sistematik literatür taraması ve kavramsal modelleme yaklaşımı benimsenmiş olup, "Şeffaf, Öngörülebilir ve Otonom Değer Zinciri (ŞOODZ)" mimarisi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Lojistik 4.0, Yapay Zekâ, Blokzincir, Akıllı Sözleşmeler, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM), Lojistik Merkezleri 4.0.

1. GİRİŞ

Bugün endüstrinin rekabetçi yapısına baktığımızda, ürünlerin ömrü giderek kısalırken tedarik ağlarının hiç olmadığı kadar karmaşık ve dünyaya yayılmış bir hale geldiğini görüyoruz. Eskiden işe yarayan o geleneksel tedarik zinciri yönetimi ya da sadece geçmiş verilere dayanan statik tahmin modelleri artık yetersiz kalıyor. Özellikle son yıllarda üst üste yaşadığımız küresel krizler bize bir şeyi çok net gösterdi: Sistemler, kopuk bilgi ağları yüzünden ani talep değişimlerine veya lojistik darboğazlara karşı fazlasıyla kırılgan. Haliyle artık sektörde sadece "maliyeti nasıl düşürürüz" diye değil, "sistemi nasıl daha dayanıklı ve çevik hale getiririz" diye düşünmek zorundayız. Ciddi bir paradigma değişimi yaşanıyor.

Aslında Lojistik 4.0 kavramı da tam olarak bu zorunlu değişimin bir sonucu. Artık mesele sadece büyük lojistik merkezler inşa etmek veya fiziksel kapasiteyi artırmak değil; siber-fiziksel sistemleri kullanarak bu yapıları gerçekten "akıllı" hale getirmek. Tabii burada sık düşülen bir yanılgı var: Sahadaki sensörlerden (IoT), barkodlardan veya şirket içi ERP yazılımlarından sürekli veri toplamak dijitalleşmek için tek başına yetmiyor. O devasa veriyi (Big Data) sadece biriktirmenin pek bir anlamı yok. Asıl katma değer, toplanan bu veriyi makine öğrenmesi ve derin öğrenme gibi yapay zeka yöntemleriyle işleyip geleceğe dönük proaktif adımlar atabilmekte yatıyor. Yapay zekayı tedarik zincirinin beyni gibi düşünürsek, sistemin otonom kararlar alabilmesi için beslendiği verinin çok temiz ve manipüle edilmemiş olması şart. Ne var ki mevcut yapılarda paydaşlar arası güven eksikliği ve veri şeffaflığı sorunu, otonom kararların önündeki en büyük bariyer olmaya devam ediyor.

Veri güvenliği ve şeffaflık dendiğinde de tam bu noktada sahneye Blokzincir (Blockchain) teknolojisi çıkıyor. Dağıtık bir defter mantığıyla çalışan blokzincir yapısı, verilerin sonradan değiştirilmesini imkansız hale getiriyor. Böylece kimsenin kimseye güvenmek zorunda kalmadığı ama herkesin sisteme yüzde yüz güvendiği, baştan uca izlenebilir bir ağ oluşuyor. Yapay zekanın o güçlü analiz yeteneği ile blokzincirin "akıllı sözleşmeler" (smart contracts) altyapısı bir araya geldiğinde işin rengi tamamen değişiyor; tedarik zinciri neredeyse sıfır hatayla, insan müdahalesi beklemeden kendi kendini yönetebilen bir otonomi kazanıyor. Hazırlanan bu çalışmada da temel amacımız, tedarik zinciri yönetimi ve Ürün Yaşam Döngüsü (PLM) süreçlerinde oyunun kurallarını değiştiren bu iki yıkıcı teknolojinin nasıl bir sinerji yarattığını incelemek ve geleceğin lojistik merkezlerinde bu entegrasyonun nasıl karşılık bulacağını tartışmaktır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Lojistik 4.0 ve Dijital Dönüşüm Vizyonu

Endüstri 4.0'ın sadece fabrikaların içindeki üretim bantlarında kalmayıp, işin başından sonuna tüm değer zincirine yayılmasına kısaca Lojistik 4.0 diyebiliriz. Eskiden lojistik dediğimizde aklımıza sadece malların bir yerden bir yere taşınması, depolanması veya gümrükten geçirilmesi geliyordu. Ancak bugünün dijital lojistiği bambaşka bir boyutta. Nesnelerin interneti (IoT), bulut bilişim, otonom robotlar ve dijital ikizler (digital twins) gibi teknolojiler sayesinde; fiziksel malların hareketiyle veri akışını aynı anda, üstelik sıfır gecikmeyle koordine edebiliyoruz.

Hatta akademik literatüre baktığımızda da bu yapısal değişimin altı sıklıkla çiziliyor. Örneğin Volkan Yavaş ve Özkan-Özen'in (2020) çalışmalarında vurguladıkları çok kritik bir nokta var: Artık lojistik merkezlerini sadece yüklerin indirilip bindirildiği, standart aktarma noktaları olarak göremeyiz. Bu alanların, bölgesel verilerin işlendiği ve sistemin kendi kendine katma değerli otonom kararlar alabildiği akıllı yapılar, yani "Lojistik Merkezi 4.0" (Logistics Center 4.0) olarak baştan tanımlanması gerekiyor.

2.2. Tedarik Zincirinin Beyni: Yapay Zekâ ve Tahmine Dayalı Analitik

Meseleye yapay zekâ destekli veri analizi penceresinden baktığımızda, sistemin bize sadece "geçmişte ne olduğunu" anlatan tanımlayıcı bir yapı değil, tam aksine "gelecekte ne yapmamız

gerektiğini" söyleyen kuralcı bir çözüm sunduğunu görüyoruz. Geleneksel bir yazılım size dönüp sadece "Geçen ay şu kadar hammadde harcadık" bilgisini verir. Ancak yapay zekâ algıprmaları işi çok daha stratejik bir boyuta taşır. "Önümüzdeki ay beklenen olası bir küresel hava krizi, alt yüklenicilerimizin teslimatlarını nasıl etkiler? Tedariki güvenceye almak için hangi alternatif satıcıdan hemen şimdi ne kadar sipariş geçmeliyiz?" gibi karmaşık soruları saniyeler içinde hesaplar. Hatta hesaplamakla kalmaz, satın alma emirlerini sistemde otonom olarak kendi kendine oluşturur.

Benzer bir proaktif yaklaşımı üretim hatlarında veya lojistik filolarında da görüyoruz. Kestirimci bakım (predictive maintenance) uygulamaları sayesinde, araçlardaki veya bantlardaki olası bir arıza daha yaşanmadan tespit ediliyor ve böylece değer zincirindeki o can sıkıcı duraksamalar en aza indiriliyor. Zaten literatüre baktığımızda da bu etkinin altı net bir şekilde çiziliyor. Örneğin Gedik (2021), yapay zekânın üretim ve tedarik süreçlerini nasıl mükemmel bir uyumla senkronize ettiğini anlatırken, bu teknolojinin aslında tedarik zincirindeki en büyük düşmanımız olan "belirsizliği" tamamen ortadan kaldırdığına özellikle dikkat çekiyor.

2.3. Yapay Zekânın Güvenlik Ağı: Blokzincir ve Akıllı Sözleşmeler

"Çöp girerse, çöp çıkar" (Garbage in, garbage out). Yapay zekâ algoritmalarımız ne kadar gelişmiş olursa olsun, eğer onlara sunduğumuz veri kalitesiz veya manipülasyona açık, alacağımız otonom kararlar da bir o kadar güvenilmez olacaktır. Özellikle lojistik gibi; ana sanayiden alt yükleniciye, gümrükten lojistik servis sağlayıcıya kadar sayısız paydaşın birbirine bağlandığı ağlarda maalesef veri silolaşması ve bilginin değiştirilme riski çok yüksek.

İşte Blokzincir (Blockchain) teknolojisi, tedarik zincirindeki bu devasa "güven" açığını kapatmak için tam bu noktada devreye giriyor. Saberi ve arkadaşlarının (2019) çalışmalarında da çok net bir şekilde ortaya konduğu üzere, blokzincir yapısı taraflar arasındaki güven problemini tamamen aradan çıkarıyor. Çünkü sistemdeki konsensüs mekanizmalarıyla şifrelenen bir veriyi, geriye dönük olarak değiştirmek teknik olarak imkansız. Buna bir de "akıllı sözleşmeleri" (smart contracts) dahil ettiğinizde süreç kusursuz bir otomasyona dönüşüyor. Örneğin; bir kargo teslimat noktasına ulaştığında, oradaki IoT sensörü kargonun geldiğini anında doğruluyor ve akıllı sözleşme hiçbir insan onayına, mail trafiğine veya ERP girişine ihtiyaç duymadan saniyeler içinde tedarikçinin ödemesini gerçekleştiriyor.

3. METODOLOJİ VE ARAŞTIRMA TASARIMI

Bu araştırmanın temelini kurgularken, konunun doğası gereği nitel yöntemlere başvurduk ve çalışmamızı "Sistemik Literatür Analizi" ile "Kavramsal Modelleme" ekseninde şekillendirdik. Özellikle son beş yılda bu alanda yaşanan hızlı gelişmeleri gözden kaçırmamak adına, Web of Science (WoS) ve Scopus gibi güvenilir veritabanlarında derinlemesine bir tarama gerçekleştirdik. Taramamızı yaparken araştırmanın odak noktasından sapmamak için "Supply Chain 4.0", "Blockchain Logistics", "AI in Supply Chain" ve "Sustainable Aviation Logistics" gibi kilit kavramları merkeze aldık. Nihayetinde, literatürden süzüp çıkardığımız bu teorik bulguları birbiriyle harmanlayarak, yapay zekâ ve blokzincir gibi iki güçlü teknolojinin lojistik süreçlerinde nasıl entegre ve senkronize bir şekilde çalışabileceğini gösteren özgün bir mimari akış şeması ortaya koyduk.

4. SİNERJİ MODELİ: AI VE BLOKZİNCİR ENTEGRASYON MİMARİSİ

Önerilen model, birbirinden bağımsız çalışan Lojistik 4.0 bileşenlerini tek bir hibrit karar ve icra mekanizmasında birleştirmeyi hedefler. Aşağıdaki Çizelge 1, mevcut teknolojilerin kapasitelerini ve önerilen entegre sistemin yarattığı katma değeri özetlemektedir.

Çizelge 1. Mevcut Teknolojilerin Kapasiteleri ve Entegrasyonun Katma Değeri

Kapasite / Özellik	Sadece Yapay Zekâ (AI)	Sadece Blokzincir (DLT)	AI + Blokzincir Entegrasyonu (Önerilen)
Veri Yönetimi	Büyük veriyi işler ve örüntü arar ancak verinin kaynağına kördür.	Verinin değişmezliğini sağlar ancak analitik çıkarım yapamaz.	Manipüle edilemeyen "temiz" veri ile %99+ isabetli otonom kararlar alır.
Karar İcrası	Karar destek sunar, icra için manuel onay veya ERP onayı gerektirir.	Şartlar sağlandığında akıllı sözleşme ile otomatik icra eder (Statik).	Dinamik piyasa koşullarını öğrenen akıllı sözleşmeler ile esnek icra.
İzlenebilirlik	Operasyonel durum tahmini yapar.	Uçtan uca şifreli kayıt tutar (Dijital Pasaport).	Geçmiş izleri analiz edip gelecek rotadaki riskleri öngören proaktif izleme.

4.1. Katmanlı Mimari Analizi

- Fiziksel Katman (IoT ve Sensörler): Araçlar, konteynerler ve depolardaki sensörler anlık konum, sıcaklık, nem, titreşim gibi verileri toplar.
- Doğrulama Katmanı (Blokzincir Defteri): Sensör verileri anlık olarak ağa iletilir ve SHA-256 gibi kriptografik özetleme algoritmalarıyla zincire eklenir. Veri artık teyit edilmiş bir "tek hakikat kaynağı" (Single Source of Truth) halini alır.
- Bilişsel Katman (AI ve Makine Öğrenmesi): Temiz veri setleri, tahmine dayalı algoritmalar tarafından işlenir. Lojistik darboğazlar öngörülür, en uygun rotalama RLA (Reinforcement Learning) modelleri ile hesaplanır.
- Yürütme Katmanı (Akıllı Sözleşmeler): Kararlar, merkeziyetsiz ağ üzerindeki kod blokları tarafından insan onayı beklemezsizin uygulanır.

Örnek bir akıllı sözleşme mantığının (Solidity benzeri) lojistikte uygulanabilir konsept kodu şu şekildedir:

```
function executeSupplyContract(string memory _partID, int _temperatureData) public {  
    // AI Modeli tahmini: Parçanın gecikme riski yüksek  
    bool aiRiskAlert = fetchAIPrediction(_partID);
```

```
// Soğuk zincir ihlali veya AI risk uyarısı kontrolü
if (_temperatureData > MAX_TEMP || aiRiskAlert == true) {
    triggerAlternativeSupplier(_partID);
    penalizeCarrier(carrierID);
    emit SupplyChainEvent("Risk Tespit Edildi, Alternatif Rota/Tedarikçi Aktif.");
} else {
    processPayment(carrierID, contractAmount);
    emit SupplyChainEvent("Teslimat Başarılı ve Güvenli.");
}
}
```

5. SEKTÖREL UYGULAMA ALANLARI

5.1. Havacılık ve Savunma Sanayii Lojistiğinde Dijitalleşme

Aslında bu anlattığımız mimarinin gücünü en iyi test edebileceğimiz yer, operasyonların kelimenin tam anlamıyla "sıfır hata" toleransı ile yürüdüğü havacılık sektörü. Havacılıkta dijitalleşme ve verimlilik ilişkisini göz önüne aldığımızda; sonuçta bir uçak ya da İnsansız Hava Aracı (İHA) dediğimiz sistem binlerce birbirinden bağımsız, son derece spesifik parçanın bir araya gelmesiyle oluşuyor.

İşte tam bu noktada, 3DEXPERIENCE gibi PLM platformlarında yönetilen veya Fusion 360'ta tasarlanan bir parçanın (o ilk CAD modelinin) üretim bandından çıkıp yıllar sonraki bakım-onarım (MRO) aşamasına gelene kadarki tüm hikayesini düşünün. Bu dijital ikiz verilerinin tamamını Blokzincir üzerinde güvenli bir "Dijital Ürün Pasaportu" olarak tutabiliyoruz. Sonrasında işin içine yapay zekâ giriyor; uçuş verilerini sürekli analiz ederek o parçanın ne zaman yorulacağını daha arıza yaşanmadan haftalar önce öngörebiliyor. Hatta öngörmekle kalmıyor, küresel tedarik zincirine bağlanıp blokzincir üzerinden güvenilir ve otonom bir şekilde orijinal yedek parçanın siparişini bizzat veriyor. Kentsel Hava Taşımacılığı (UAM) gibi yeni nesil konseptlerde, vertiportlar arası malzeme taşıyan otonom İHA'ların rotaları ve tüm operasyonları işte bu şeffaf sistem üzerinden eksiksiz bir şekilde denetlenebilir.

5.2. Otomotiv ve Ürün Yaşam Döngüsü (PLM) Bağlantısı

Havacılık kadar kritik bir diğer alan da aslında ağır ticari araç ve savunma sanayii odaklı otomotiv üretimi. Binlerce parçadan oluşan devasa bir kamyonun veya zırhlı bir aracın o kompleks mühendislik yapısını düşündüğümüzde, masadaki ürün verisiyle sahadaki tedarik verisinin anlık olarak senkronize olması tek kelimeyle hayati bir mesele.

Ürünün ürün ağacında (BOM - Bill of Materials) yapılan ufak bir tasarım değişikliği ya da mühendislik revizyonu, dünyanın bambaşka bir yerindeki tedarikçinin üretim planını anında etkiliyor. İşte kurguladığımız bu hibrit sistem, üretim tesisinin kalbindeki PLM yazılımlarıyla sahadaki Lojistik 4.0 sistemlerini adeta tek bir vücut haline getiriyor. Süreç tam olarak şöyle işliyor: Tasarım ekibinin yaptığı bir mühendislik revizyonu Blokzincir ağına güvenli bir şekilde işlendiği an, yapay zekâ hemen küresel tedarikçilerin güncel kapasitelerini tarıyor. Ardından akıllı sözleşmeler devreye girip, hiçbir manuel onaya veya uzun mail trafiklerine gerek

kalmadan, üretim emirlerini anında o yeni kalıp veya parça spesifikasyonlarına göre güncelleyerek sahadaki üretime yansıtıyor.

6. TARTIŞMA: DEĞER ZİNCİRİNE SAĞLANAN KATKILAR

1. Kamçı Etkisinin (Bullwhip Effect) Sönümlenmesi: Sektörde hepimizin bildiği o klasik problem; bilginin müşteriden en uçtaki hammadde tedarikçisine doğru giderken adeta "kulaktan kulağa" oynar gibi bozulması ve ufak talep değişimlerinin devasa stok sapmalarına dönüşmesidir. Geleneksel modellerin en büyük kör noktası budur. Ancak kurduğumuz bu hibrit yapıda, Blokzincir sayesinde sahadaki tüm paydaşlar anlık müşteri talebini ve stok durumunu eşzamanlı, şeffaf bir şekilde görebiliyor. Yapay zekâ da bu manipüle edilmemiş taze veriyi işleyerek o sapmaları neredeyse sıfıra indiriyor.
2. Sürdürülebilirlik ve Karbon Ayak İzinin Optimize Edilmesi: Bugün Çevresel, Sosyal ve Yönetişim (ESG) hedefleri artık sunumları süsleyen kavramlar olmaktan çıktı, lojistik faaliyetler için zorunlu ve kritik bir metriğe dönüştü. Sistemimizdeki yapay zekâ destekli rotalama algoritmaları, sadece en hızlı veya en ucuz olanı değil, karbon emisyonu en düşük olan ulaşım modlarını da bularak karar veriyor. Blokzincir ise bu çevre dostu adımları ve yeşil lojistik sertifikalarını kimsenin değiştiremeyeceği şekilde kayıt altına alıyor. Yani endüstride sıkça karşılaştığımız o meşhur "yeşil göz boyama" (greenwashing) taktiklerinin de teknik olarak tamamen önünü kesmiş oluyoruz.
3. Krizlere Karşı Operasyonel Dayanıklılık (Resilience): Tedarik zincirinde gerçek esneklik, işler yolundayken değil asıl kriz anlarında test edilir. Diyelim ki tedarik ağımızın kritik bir düğümünde, örneğin kilit bir sınır kapısında aniden jeopolitik bir kriz patlak verdi. Geleneksel sistemde bunu fark edip manuel bir aksiyon alana kadar üretim bandı çoktan durma tehlikesiyle yüz yüze kalır. Oysa bu kurguda, makine öğrenmesi algoritmaları global haber akışlarından veya veri beslemelerinden o krizi anında seziyor ve saniyeler içinde farklı bir kıtadaki alternatif tedarikçiyle yepyeni bir akıllı sözleşme imzalayarak operasyonun kesintisiz sürmesini güvence altına alıyor.

7. SONUÇ VE GELECEK ARAŞTIRMA YÖNLERİ

Endüstri 4.0'ın lojistik dünyasındaki yansımaları sadece "depoları birkaç robot koymak" ya da "süreçleri otomatize etmek" olarak göremeyiz. Asıl mesele, kendi kendine düşünebilen, zeki ve otonom bir ekosistem inşa edebilmek. Çalışma boyunca üzerinde durduğumuz "Yapay Zekâ ve Blokzincir Entegrasyonu" da tam olarak sektörün yıllardır kanayan iki büyük yarasına parmak basıyor: Sistemi tıkayan yavaş karar alma mekanizmaları ve paydaşlar arasındaki bitmek bilmeyen güven eksikliği. Yapay zekânın o dinamik öğrenme kapasitesini, blokzincirin "asla değiştirilemez" güven duvarıyla birleştirdiğimizde, ortaya harika bir tablo çıkıyor. Artık kriz patlak verdikten sonra panikle reaksiyon gösteren değil, krizi önceden sezip pozisyon alan, gerçekten dirençli (resilient) değer zincirlerinden bahsediyoruz.

Özellikle hata payının sıfır olduğu havacılıkta veya bizim yakından bildiğimiz ağır ticari araç/otomotiv gibi yüksek katma değerli sanayilerde, bu altyapının mevcut PLM sistemleriyle tam entegre çalışması, Lojistik Merkezi 4.0 vizyonunu bambaşka bir boyuta taşıyacaktır. Elbette işin mutfağında hala çözülmesi gereken teknik ve hukuki meseleler var. Bundan sonraki süreçte, kağıt üzerindeki bu kavramsal modeli sahaya indirip gerçek vaka analizleriyle (Case

Study) test etmemiz gerekiyor. Örneğin, yapay zekâ kendi kendine yüklü bir satın alma kararı verdiğinde yasal sorumluluğun kimde olacağı veya blokzincir ağındaki o yüksek işlem maliyetlerinin (gas fees) devasa sanayi ölçeklerinde nasıl düşürüleceği, kesinlikle bir sonraki ampirik çalışmalarımızın ana odak noktası olmalı.

KAYNAKÇA

1. Gedik, Y. (2021). Endüstri 4.0 teknolojilerinin ve endüstri 4.0'ın üretim ve tedarik zinciri kapsamındaki etkileri: Teorik bir çerçeve. JOEEP: Journal of Emerging Economies and Policy, 6(1), 248-264.
2. Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. International Journal of Production Research, 57(7), 2117-2135.
3. Yavaş, V., & Özkan-Özen, Y. D. (2020). Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 135, 101864.
4. Yavaş, V. (2022). Havacılıkta Dijitalleşme ve Verimlilik İlişkisi Üzerine Bir İçerik Analizi. Verimlilik Dergisi, 224-236.
5. Yesim, O., & Yavaş, V. (2022). Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Anlayışına Yönelik Bir Bibliyometrik Analiz. Anadolu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 23(3).

RAMA DAĞILIMININ BİLİNMEYEN PARAMETRESİNİN SIRALI KÜME ÖRNEKLEMESİ ALTINDA TAHMİNİ

Doç. Dr., Hasan HÜSEYİN GÜL

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

Dr. Öğr. Üyesi, Ahmet KOCATÜRK

Erzurum Teknik Üniversitesi,
ahmet.kocaturk@erzurum.edu.tr - 0000-0003-2542-3264

ÖZET

Ömür verilerinin modellenmesinde uygun dağılım ve örneklem yönteminin seçimi, elde edilen tahminlerin doğruluğu açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Rama dağılımının bilinmeyen parametresinin tahmini ele alınmıştır. Parametre tahmininde en çok olabilirlik (EÇO) yöntemi kullanılmış ve tahmin ediciler iki farklı örneklem tasarımı altında incelenmiştir: basit tesadüfi örneklem (BTÖ) ve sıralı küme örnekleme (SKÖ). SKÖ yöntemi, ölçüm maliyetinin yüksek olduğu durumlarda birimlerin kolaylıkla sıralanabilmesine dayanan etkin bir alternatif örneklem yaklaşımıdır.

Bu çalışmada, farklı parametre değerleri ve örnek hacimleri için kapsamlı bir Monte Carlo simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar sonucunda elde edilen tahmin ediciler yan ve hata kare ortalaması (HKO) ölçütleri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, örnek hacminin artmasıyla birlikte her iki yöntem altında da tahmin edicilerin performansının iyileştiğini göstermektedir. Bununla birlikte, SKÖ altında elde edilen tahminlerin, BTÖ kıyasla genellikle daha düşük yan ve HKO değerlerine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, Rama dağılımı parametrelerinin tahmininde SKÖ daha etkin sonuçlar sağladığı ve özellikle ölçüm maliyetinin yüksek olduğu uygulamalarda tercih edilebilecek güçlü bir alternatif olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Rama dağılımı, Sıralı küme örnekleme, Basit tesadüfi örnekleme, En çok olabilirlik.

1. GİRİŞ

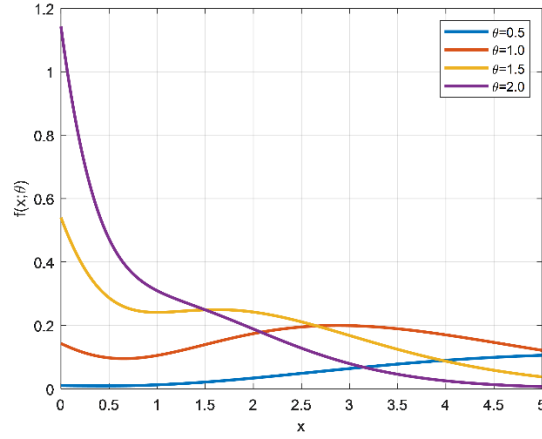
Ömür verilerinin modellenmesi ve istatistiksel olarak analiz edilmesi, başta tıp, mühendislik, sigortacılık ve finans olmak üzere birçok uygulama alanında kritik bir rol oynamaktadır. Bu tür verilerin modellenmesinde en sık başvuru dağılımları arasında üstel dağılım ile Lindley [1] tarafından önerilen Lindley dağılımı yer almaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar, bu klasik dağılımların her durumda yeterli esnekliği sağlayamadığını ortaya koymuştur. Nitekim Shanker ve ark. [2], üstel ve Lindley dağılımlarını karşılaştırmalı olarak incelemiş ve bu dağılımların şekil özellikleri ile diğer yapısal sınırlamaları nedeniyle bazı ömür verilerine uygun sonuçlar vermediğini göstermiştir.

Bu durum, daha esnek ve veriye daha iyi uyum sağlayabilen yeni dağılımlara olan ihtiyacı gündeme getirmiştir. Bu doğrultuda Shanker [3-7] tarafından Akash, Shanker, Aradhana, Amarendra ve Sujatha dağılımları gibi tek parametrelili yeni ömür dağılımları literatüre kazandırılmıştır. Bununla birlikte, bu yeni dağılımların da bazı teorik ya da uygulamaya yönelik durumlarda yetersiz kaldığı ve karmaşık veri yapıları için uygun bir model oluşturamadığı görülmüştür. Bu noktada, araştırmacılar ömür verilerini daha esnek bir şekilde modelleyebilmek amacıyla yeni dağılımlar önermeye yönelmişlerdir. Bu kapsamda, Shanker [8] tarafından geliştirilen Rama dağılımı, üstel tip dağılımların bir alternatifi olarak literatüre kazandırılmıştır. Bu dağılım; ölçek parametresi θ olan bir üstel dağılım ile şekil parametresi 4 ve ölçek parametresi θ olan bir gamma dağılımının birleşiminden elde edilmiştir. Rama dağılımı, sahip olduğu yapısal özellikler sayesinde farklı veri yapılarının modellenmesinde daha esnek bir yaklaşım sunmaktadır. Bu dağılıma ait dağılım fonksiyonu (df) ve olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) aşağıda verilmiştir:

$$F(x) = 1 - \left[1 + \frac{\theta^3 x^3 + 3\theta^2 x^2 + 6\theta x}{\theta^3 + 6} \right] \exp(-\theta x), \quad x > 0, \theta > 0, \quad (1)$$

$$f(x) = \frac{\theta^4}{\theta^3 + 6} (1 + x^3) \exp(-\theta x). \quad (2)$$

Rama dağılımının farklı parametre değerleri için oyf grafiği Görsel 1 de verilmiştir.



Görsel 1. Rama dağılımının farklı parametre değerleri için oyf grafiği.

SKÖ, ilgilenilen değişkenin doğrudan ölçümünün maliyetli veya güç olduğu durumlar için geliştirilmiş alternatif bir örnekleme tasarımıdır. Bu yöntemde, örnek birimleri ölçüm yapılmaksızın, genellikle görsel değerlendirme veya yardımcı değişkenler aracılığıyla sıralanır ve seçilen birimler üzerinde hassas ölçümler gerçekleştirilir. SKÖ yaklaşımı ilk olarak McIntyre [9] tarafından önerilmiş olup, daha sonra Takahasi ve Wakimoto [10] tarafından teorik olarak incelenmiştir. Bu çalışmalar, hatasız sıralama durumunda SKÖ tahmin edicilerinin yansız olduğunu ve varyans bakımından BTÖ'ye göre daha etkin sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bunun yanı sıra, Dell ve Clutter [11] tarafından yapılan çalışmalar, sıralama hatalarının varlığında dahi SKÖ'nün önemli ölçüde etkinliğini koruduğunu ortaya koymuştur. Bu özellikleri nedeniyle SKÖ, farklı disiplinlerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

SKÖ yöntemi aşağıdaki adımlar izlenerek uygulanır:

- Öncelikle ana kütlede basit tesadüfi örnekleme yoluyla m^2 birim seçilir. Bu birimler, her biri m gözlem içerecek şekilde rastgele m kümeye ayrılır.
- Her bir kümede yer alan gözlem birimleri, ilgilenilen değişken bakımından doğrudan ölçüm yapılmaksızın, görsel değerlendirme veya yardımcı bir değişken aracılığıyla küçükten büyüğe doğru sıralanır.
- Birinci kümeden en küçük gözlem değeri, ikinci kümeden ikinci sıradaki gözlem değeri, ..., m . kümeden ise en büyük gözlem değeri seçilerek ölçüm yapılır.
- Bu süreç r kez tekrar edilerek toplam $n = m * r$ büyüklüğünde bir örneklem elde edilir.

Birçok araştırmacı, çeşitli dağılımların parametre tahmin problemini sıralı küme örnekleme (SKÖ) altında ele almış ve bu yöntemin sağladığı avantajları incelemiştir. Örneğin, Nagy ve ark. [12] inverted Kumaraswamy dağılımının parametrelerini, Nandurbarkar ve Shanubhogue [13] genelleştirilmiş üstel dağılımın parametrelerini, Shaaban [14] inverted Topp-Leone dağılımının parametrelerini, Al-Omari ve ark. [15] transmuted inverse Rayleigh dağılımının parametrelerini, Zhang ve ark. [16] Birnbaum-Saunders dağılımının parametrelerini, Benchhiha ve ark. [17] unit-Lindley dağılımının parametrelerini, Chen ve ark. [18] exponential-Poisson dağılımının parametrelerini ve Gul and Koçer [19] Gompertz dağılımının parametrelerini SKÖ tasarımı altında tahmin etmişlerdir.

Bu çalışmada, Rama dağılımına ait bilinmeyen parametrenin tahmini problemi, hem basit tesadüfi örnekleme (BTÖ) hem de sıralı küme örnekleme (SKÖ) tasarımları altında ele alınmıştır. Parametre tahmininde en çok olabilirlik yaklaşımı benimsenmiş olup, elde edilen tahmin edicilerin etkinliği kapsamlı bir Monte Carlo simülasyon çalışması ile değerlendirilmiştir. Farklı örnek büyüklükleri ve parametre değerleri altında elde edilen sonuçlar, yan ve hata kare ortalaması kriterleri kullanılarak karşılaştırılmıştır.

2. PARAMETRE TAHMİNİ

Bu bölümde, Rama dağılımının bilinmeyen parametresi için BTÖ ve SKÖ altında EÇÖ tahmin edicileri elde edilecektir.

2.1. BTÖ Altında EÇÖ Tahmini

$(x_1, x_2, \dots, x_n)$ Rama dağılımından n çaplı rasgele örneklem olsun. Olabilirlik fonksiyonu Eş. (3) de verildiği gibidir:

$$L = \left(\frac{\theta^4}{\theta^3+6}\right)^n \prod_{i=1}^n (1+x_i^3) e^{-n\theta\bar{x}}. \quad (3)$$

Log-olabilirlik fonksiyonu ise Eş. (4) de verilmiştir:

$$\ln L = n \ln \left(\frac{\theta^4}{\theta^3+6}\right) + \sum_{i=1}^n \ln(1+x_i^3) - n\theta\bar{x}. \quad (4)$$

İlgili parametreye göre türev alınıp sıfıra eşitlenerek olabilirlik denklemi Eş. (5) deki gibi elde edilir:

$$\frac{d \ln L}{d \theta} = \frac{4n}{\theta} - \frac{3n\theta^2}{\theta^3+6} - n\bar{x}. \quad (5)$$

Ortaya çıkan doğrusal olmayan denklem sisteminin analitik olarak çözülmesi güç olduğundan, çözüm için sayısal yöntemlere başvurulmuştur. Bu çalışmada, sayısal çözüm sürecinde Nelder–Mead optimizasyon algoritması tercih edilmiştir.

2.2. SKÖ Altında EÇÖ Tahmini

$X_{(i:m)j}$, j 'ninci döngüde Rama (θ) dağılımından alınan m boyutlu i 'ninci kümedeki i 'ninci sıra istatistiği olsun. Burada $i = 1, \dots, m$ ve $j = 1, \dots, r$ 'dir. m küme büyüklüğü ve r tekrar sayısı olmak üzere $X_{(i:m)j}$ Rama (θ) dağılımından alınan $n=mr$ büyüklüğünde sıralı küme örneklemini oluşturur. $X_{(i:m)j}$ 'nin oyf aşağıdaki gibi yazılır;

$$f_{X_{(i:m)j}}(X_{(i:m)j}) = \frac{m!}{(i-1)!(m-i)!} [F(X_{(i:m)j})]^{i-1} [1 - F(X_{(i:m)j})]^{m-i} f(X_{(i:m)j}). \quad (6)$$

Olabilirlik fonksiyonu,

$$\begin{aligned} L(\lambda, \beta | x_{(i:m)j}) &= \prod_{j=1}^r \prod_{i=1}^m f_{X_{(i:m)j}}(x_{(i:m)j}) \\ &= K \prod_{j=1}^r \prod_{i=1}^m \left[1 - \left[1 + \frac{\theta^3 x_{(i:m)j}^3 + 3\theta^2 x_{(i:m)j}^2 + 6\theta x_{(i:m)j}}{\theta^3+6} \right] \exp(-\theta x_{(i:m)j}) \right]^{i-1} \end{aligned}$$

$$\left[\left[1 + \frac{\theta^3 x_{(i:m)j} + 3\theta^2 x_{(i:m)j}^2 + 6\theta x_{(i:m)j}}{\theta^3 + 6} \right] \exp(-\theta x_{(i:m)j}) \right]^{m-i} \left(\frac{\theta^4}{\theta^3 + 6} (1 + x_{(i:m)j}^3) \exp(-\theta x_{(i:m)j}) \right), \quad (7)$$

şeklinde elde edilir. Burada $K = \frac{m!}{(i-1)!(m-i)!}$ biçimindedir. Daha sonra log-olabilirlik fonksiyonu bulunup ilgili parametrelere göre türevleri alınıp sıfıra eşitlenerek EÇO tahmin edicileri elde edilir. Elde edilen lineer olmayan denklemler Nelder-Mead optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür.

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu bölümde, BTÖ ve SKÖ tasarımlarının performanslarını karşılaştırmak amacıyla Monte Carlo simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon kapsamında, Rama dağılımından $\theta = 0.5, 1.0, 1.5$ ve 2.0 parametre değerleri için $n = 15, 30, 60$ ve 90 örnek çaplarında rassal örnekler üretilmiştir. SKÖ tasarımında set büyüklüğü $m = 3$ ve 5 , her bir durumda tekrar sayısı $r = n/m$ olacak şekilde belirlenmiştir. Elde edilen örnekler kullanılarak elde edilen tahmin ediciler yan ve HKO kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Simülasyon çalışması 10000 tekrar üzerinden yürütülmüş olup, tüm hesaplamalar MATLAB program ortamında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 1 ve 2 de sunulmuştur.

Çizelge 2. $(\theta; \eta = 0.3; 0.6)$ ve $(\theta; \eta = 0.5; 1.4)$ parametrelerine ilişkin yan ve HKO değerleri.

θ	n	m	r	$Yan_{BTÖ}$	$HKO_{BTÖ}$	$Yan_{SKÖ}$	$HKO_{SKÖ}$
0.5	15	3	5	0.0072	0.0043	0.0059	0.0022
0.5	30	3	10	0.0044	0.0022	0.0027	0.0012
0.5	60	3	20	0.0511	0.0013	0.0008	0.0005
0.5	90	3	30	0.0010	0.0006	0.0012	0.0003
0.5	15	5	3	0.0088	0.0044	0.0012	0.0014
0.5	30	5	6	0.0018	0.0021	0.0510	0.0009
0.5	60	5	12	0.0028	0.0010	0.0014	0.0004
0.5	90	5	18	0.0011	0.0007	0.0000	0.0003
1	15	3	5	0.0107	0.0150	0.0080	0.0076
1	30	3	10	0.0115	0.0077	0.0023	0.0037
1	60	3	20	0.0051	0.0037	0.0017	0.0019
1	90	3	30	0.0021	0.0026	0.0014	0.0013
1	15	5	3	0.0084	0.0143	0.0061	0.0048
1	30	5	6	0.0035	0.0069	0.0017	0.0025
1	60	5	12	0.0026	0.0037	0.0004	0.0012
1	90	5	18	0.0020	0.0025	-0.0007	0.0009

Çizelge 3. ($\theta; \eta = 0.7; 0.9$) ve ($\theta; \eta = 1.4; 1.1$) parametrelerine ilişkin yan ve HKO değerleri.

θ	n	m	r	$Yan_{BTÖ}$	$HKO_{BTÖ}$	$Yan_{SKÖ}$	$HKO_{SKÖ}$
1.5	15	3	5	0.0138	0.0312	0.0113	0.0174
1.5	30	3	10	0.0085	0.0166	0.0067	0.0077
1.5	60	3	20	0.0075	0.0077	0.0038	0.0039
1.5	90	3	30	0.0025	0.0053	0.0030	0.0025
1.5	15	5	3	0.0154	0.0326	0.0000	0.0101
1.5	30	5	6	0.0105	0.0157	0.0020	0.0055
1.5	60	5	12	0.0031	0.0080	0.0005	0.0028
1.5	90	5	18	0.0021	0.0054	0.0005	0.0017
2	15	3	5	0.0432	0.0755	0.0242	0.0352
2	30	3	10	0.0223	0.0325	0.0147	0.0173
2	60	3	20	0.0122	0.0157	0.0063	0.0080
2	90	3	30	0.0013	0.0103	0.0064	0.0051
2	15	5	3	0.0386	0.0764	0.0169	0.0239
2	30	5	6	0.0124	0.0308	0.0078	0.0113
2	60	5	12	0.0046	0.0145	0.0023	0.0048
2	90	5	18	0.0062	0.0099	0.0048	0.0035

Elde edilen sonuçlara bakıldığında;

- Örnek hacmi arttıkça hem BTÖ hem de SKÖ altında elde edilen yan ve HKO değerlerinin genel olarak azaldığı gözlemlenmektedir. Bu durum, tahmin edicilerin tutarlı olduğunu ve örnek büyüklüğünün artmasının tahmin doğruluğunu artırdığını göstermektedir.
- Yan değerleri açısından değerlendirildiğinde, çoğu parametre ve örnek hacmi kombinasyonunda SKÖ altında elde edilen tahmin edicilerin BTÖ'ye kıyasla daha düşük yan değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bununla birlikte bazı istisnai durumlarda (örneğin küçük örnek hacimlerinde) BTÖ'nün daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.
- HKO değerleri incelendiğinde, genel eğilim SKÖ yönteminin daha düşük hata değerleri ürettiğini göstermektedir. Bu durum, SKÖ'nün yalnızca yan açısından değil aynı zamanda varyans açısından da daha etkin bir tahmin yöntemi sunduğunu ortaya koymaktadır.
- Özellikle orta ve büyük örnek hacimlerinde ($n \geq 60$), SKÖ tasarımının BTÖ'ye göre belirgin bir üstünlük sağladığı ve daha kararlı sonuçlar verdiği dikkat çekmektedir.
- Örnek çapının etkisi incelendiğinde, $m = 5$ için elde edilen sonuçların çoğu durumda $m = 3$ 'e göre daha düşük yan ve HKO değerleri verdiği görülmektedir. Bu durum, daha

büyük set büyüklüğünün sıralama bilgisinden daha fazla yararlanılmasını sağladığını göstermektedir.

- Bununla birlikte, bazı parametre ve örnek hacmi kombinasyonlarında (özellikle $\theta = 0.5$ ve küçük n değerlerinde) her iki yöntemde de sapmaların arttığı ve istikrarsız sonuçların ortaya çıktığı görülmektedir. Bu durum, küçük örnek hacimlerinde tahmin performansının daha hassas olduğunu göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Lindley, D.V. (1958): Fiducial distributions and Bayes' theorem, Journal of the Royal Statistical Society, Series B, 20, 102- 107.
- [2] Shanker, R., Hagos, F, and Sujatha, S. (2015): On modeling of Lifetimes data using exponential and Lindley distributions, Biometrics & Biostatistics International Journal, 2 (5), 1-9.
- [3] Shanker, R. (2015 a): Akash distribution and its Applications, International Journal of Probability and Statistics, 4(3), 65 -75.
- [4] Shanker, R. (2015 b): Shanker distribution and its Applications, International Journal of Statistics and Applications, 5(6), 338 – 348.
- [5] Shanker, R. (2016 a): Amarendra distribution and its Applications, American Journal of Mathematics and Statistics, 6(1), 44 – 56.
- [6] Shanker, R. (2016 b): Aradhana distribution and its Applications, International Journal of Statistics and Applications, 6(1), 23 – 34.
- [7] Shanker, R. (2016 c): Sujatha distribution and its Applications, Statistics in Transition-new series, 17(3), 1 –20.
- [8] Shanker, R. (2017). Rani distribution and its application. Biometrics & Biostatistics International Journal, 6(1), 1-10.
- [9] McIntyre, G. A. A method for unbiased selective sampling, using ranked sets, Australian journal of agricultural research, 3(4), 385-390, 1952.
- [10] Takahasi, K., Wakimoto, K. On unbiased estimates of the population mean based on the sample stratified by means of ordering, Annals of the institute of statistical mathematics, 20(1), 1-31, 1968.
- [11] Dell, T. R., Clutter, J. L. Ranked set sampling theory with order statistics background, Biometrics, 545-555, 1972.

- [12] Nagy, H. F., Al-Omari, A. I., Hassan, A. S., & Alomani, G. A. (2022). Improved estimation of the inverted Kumaraswamy distribution parameters based on ranked set sampling with an application to real data. *Mathematics*, 10(21), 4102.
- [13] Nandurbarkar, V., & Shanubhogue, A. Parameter Estimation of Generalized Exponential Distribution using Variations in Methods of Ranked Set Sampling. *STATISTICS APPLICATIONS*, 123.
- [14] Shaaban, M. (2023). Parameter estimation for inverted topp-leone distribution based on different ranked set sampling schemes. *Thailand Statistician*, 21(3), 660-674.
- [15] Al-Omari, A. I., Benchiha, S. A., & Alomani, G. (2025). Parameter estimation for the transmuted inverse Rayleigh distribution using ranked set sampling: Applications and analysis. *AIMS Mathematics*, 10(7), 16432-16459.
- [16] Zhang, J., Chen, W., & Yang, R. (2025). Birnbaum-Saunders parameters estimation using simple random sampling and ranked set sampling. *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 54(9), 3624-3643.
- [17] Benchiha, S. A., Al-Omari, A. I., & Alomani, G. (2025). Enhanced estimation of the unit Lindley distribution parameter via ranked set sampling with real-data application. *Mathematics*, 13(10), 1645.
- [18] Chen, M., Chen, W. X., & Deng, C. H. (2025). Some new results on parameter estimation of the exponential-Poisson distribution in ranked set sampling. *Applied Mathematics-A Journal of Chinese Universities*, 40(2), 413-428.
- [19] GUL, H. H., & Yeniay Koçer, N. (2025). Estimation of the Gompertz distribution's parameters under folded ranked set sampling. *Sigma: Journal of Engineering & Natural Sciences/Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 43(3).

**EXPONENTIATED PARETO EXPONENTIAL DAĞILIMININ
PARAMETRELERİNİN FARKLI YÖNTEMLERLE TAHMİNİ VE
KARŞILAŞTIRILMASI**

Doç. Dr. Hasan Hüseyin GÜL

Giresun Üniversitesi

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

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Kocatürk

Erzurum Teknik Üniversitesi

ahmet.kocaturk@erzurum.edu.tr - 0000-0003-2542-3264

ÖZET

Olasılık dağılımlarının parametrelerinin doğru ve etkin bir biçimde tahmin edilmesi, istatistiksel modelleme sürecinin temel ve kritik aşamalarından birini oluşturmaktadır. Parametre tahminindeki doğruluk, kurulan modelin veri üzerindeki uyumunu doğrudan etkilediği gibi, elde edilecek sonuçların güvenilirliğini de belirlemektedir. Son yıllarda, klasik dağılımların yetersiz kaldığı durumları daha iyi açıklayabilmek amacıyla daha esnek yapıya sahip yeni dağılım aileleri önerilmektedir. Bu çalışmada, literatürde yakın zamanda önerilen Exponentiated Pareto Exponential (EPE) dağılımının bilinmeyen parametrelerinin tahmini ele alınmıştır.

Bu amaç doğrultusunda, en çok olabilirlik tahmini, en küçük kareler tahmini, Anderson–Darling tahmini, maksimum aralıklar çarpımı yöntemi ve yüzdelik (percentile) tahmin yöntemi olmak üzere beş farklı tahmin edici kullanılmıştır. Söz konusu yöntemlerin performanslarını değerlendirmek için kapsamlı bir Monte Carlo simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon kapsamında farklı örneklem büyüklükleri ve parametre değerleri dikkate alınarak tahmin edicilerin yan (bias) ve hata kareler ortalaması (HKO) ölçütlerine göre karşılaştırılması yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Exponentiated Pareto exponential dağılımı, Monte Carlo simülasyonu, En çok olabilirlik, Anderson-Darling.

1. GİRİŞ

Pareto dağılımları, sahip oldukları esnek yapı sayesinde farklı belirsizlik türlerinin modellenmesinde etkin bir şekilde kullanılabilmektedir. Özellikle aktüerya, ekonomi, finans, yaşam süresi analizi, güvenilirlik teorisi ve telekomünikasyon gibi birçok alanda, ömür ve risk modellerinin oluşturulmasında önemli bir yere sahiptir. Pareto dağılımlarının geniş uygulama alanına sahip olması, bu dağılımın farklı türevlerinin ve genelleştirilmiş formlarının geliştirilmesine de zemin hazırlamıştır. Bu kapsamda, Pareto tabanlı dağılımların esnekliğini artırmaya yönelik çeşitli yaklaşımlar önerilmiş ve literatürde önemli bir yer edinmiştir. Bu yaklaşımlardan biri de üstel dönüşüm temelli dağılımlardır. Üssel Pareto dağılımı (ÜP), Gupta ve ark. [1] tarafından önerilmiş olup, esnek yapısı sayesinde farklı veri türlerinin modellenmesinde dikkat çekmektedir. Bu dağılımın en önemli özelliklerinden biri, hem monoton hem de monoton olmayan tehlike oranı fonksiyonlarını temsil edebilmesidir. Bu durum, özellikle ömür verilerinin analizinde ÜP'nun etkin bir alternatif model olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Ali ve ark. [2], ÜP dağılımı da dâhil olmak üzere çeşitli üstel dağılımları ele alarak bu dağılımların temel özelliklerini incelemiş ve uygulama alanlarını tartışmıştır. Çalışmalarında, ÜP dağılımının özellikle NASDAQ verilerinin kuyruk davranışını başarılı bir şekilde modelleyebildiğini göstermişlerdir. Bunun yanı sıra, Shawky ve Abu-Zinadah [3], ÜP dağılımının bilinmeyen parametrelerinin farklı tahmin yöntemleri altında, değişen örneklem büyüklükleri ve parametre değerleri için nasıl bir performans sergilediğini araştırmıştır. Khan ve Kumar [4] ise ÜP dağılımı için alt genelleştirilmiş sıra istatistiklerine ilişkin tekli ve çarpımsal momentleri elde etmiş ve bu momentler arasında çeşitli yineleme bağıntıları geliştirmiştir. Singh ve ark. [5], tip II sansürleme altında elde edilen veriler için ÜP dağılımının parametrelerine yönelik maksimum olabilirlik ve Bayes tahmincilerini incelemiş, aynı zamanda beklenen deney süresine ilişkin sonuçlar sunmuştur. Benzer şekilde, Mahmoud ve ark. [6], aşamalı tip II sağ sansürlü sıra istatistikleri kullanarak ÜP dağılımının konum ve ölçek parametreleri için hem maksimum olabilirlik tahmincilerini hem de en iyi doğrusal tarafsız tahmincileri (BLUE) türetmiştir.

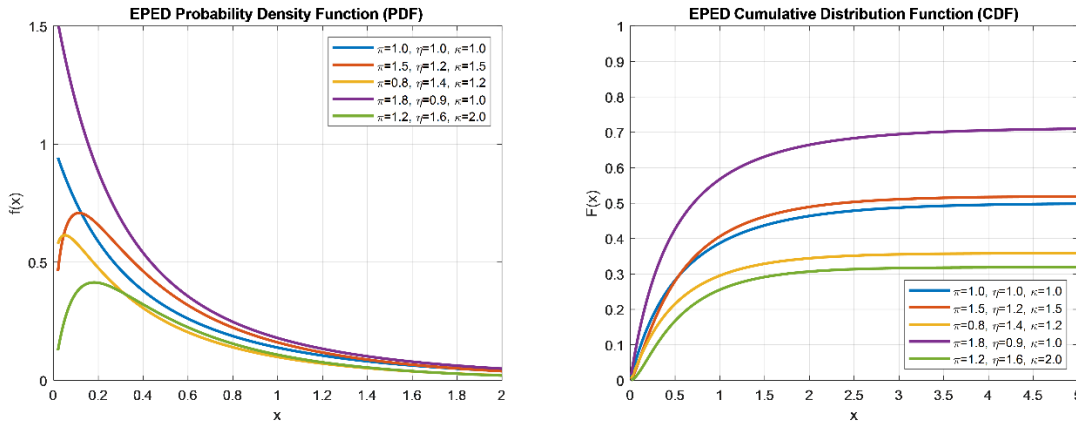
Ağır kuyruk özellikleriyle bilinen Pareto tipi dağılımlar, özellikle çevre bilimleri ve finans alanlarında aşırı olayların modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu dağılımlar, büyük sapmaların ve nadir gerçekleşen olayların modellenmesinde sağladıkları esneklik sayesinde literatürde önemli bir yer edinmiştir. Bu avantajlardan hareketle, Pareto tipi ağır kuyruk davranışını koruyan ve aynı zamanda daha esnek bir yapı sunmayı amaçlayan yeni dağılım aileleri geliştirilmiştir. Bu doğrultuda, Pareto tabanlı ağır kuyruk davranışını üstel azalma yapısı ve üstel dönüşüm yaklaşımı ile bir araya getiren exponentiated Pareto exponential (EPE) dağılımı, Sule ve Rajkoomar [7] tarafından literatüre kazandırılmıştır.

EPE dağılımının dağılım fonksiyonu (df) ve olasılık yoğunluk fonksiyonu (oyf) aşağıda verildiği gibidir:

$$F(x) = [1 - (2 - e^{-\eta x})^{-\pi}]^{\kappa}, \quad (1)$$

$$f(x) = \pi \kappa \eta e^{-\eta x} (2 - e^{-\eta x})^{-\pi-1} [1 - (2 - e^{-\eta x})^{-\pi}]^{\kappa-1}, \quad x \geq 0, \pi, \kappa, \eta > 0. \quad (2)$$

EPE dağılımının farklı parametre değerleri için oyf ve df grafikleri Görsel 1 de verildiği gibidir.



Görsel 1. EPE dağılımının oyf ve df grafikleri.

Bu çalışmada, EPE dağılımının bilinmeyen parametrelerinin tahmini ele alınmıştır. Bu amaçla, en çok olabilirlik (EÇO), en küçük kareler (EKK), Anderson–Darling (AD), maksimum aralıklar çarpımı (MPS) ve yüzdelik tahmin (YT) yöntemleri olmak üzere beş farklı tahmin yaklaşımı kullanılmıştır. Ayrıca, söz konusu tahmin yöntemlerinin performanslarını değerlendirmek amacıyla kapsamlı bir Monte Carlo simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon kapsamında, farklı örneklem büyüklükleri ve parametre değerleri dikkate alınarak tahmin edicilerin yan ve HKO ölçütlerine göre karşılaştırılması yapılmıştır.

2. PARAMETRE TAHMİN METOTLARI

Bu bölümde EPE dağılımının bilinmeyen parametrelerini tahmin etmek için EÇO, EKK, AD, MPS ve YT olmak üzere 5 farklı tahmin edici ele alınacaktır.

2.1. EPE Dağılımının EÇO Tahmini

$X_1, X_2, \dots, X_n$ EPE dağılımından alınan rasgele bir örneklem olsun. EPE dağılımının Log-olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmiştir,

$$l(x; \kappa, \pi, \eta) = n \log(\pi) + n \log(\kappa) + n \log(\eta) - n \sum_{i=1}^n x_i - (\pi + 1) \sum_{i=1}^n \log(2 - e^{-\eta x_i}) + (\kappa - 1) \sum_{i=1}^n \log[1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}]. \quad (3)$$

Parametreler, Eşitlik (3)'ün her bir parametreye göre türevi alınarak ve elde edilen ifadelerin sıfıra eşitlenmesiyle tahminler aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{\partial l}{\partial \pi} = \frac{n}{\pi} - \sum_{i=1}^n \log(2 - e^{-\eta x_i}) + (\kappa - 1) \sum_{i=1}^n \frac{(2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi} \log(2 - e^{-\eta x_i})}{\{1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}\}} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \kappa} = \frac{n}{\kappa} + \sum_{i=1}^n \log[1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}] = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial l}{\partial \eta} = \frac{n}{\eta} - \sum_{i=1}^n x_i - (\pi - 1) \sum_{i=1}^n \frac{x_i e^{-\eta x_i}}{(2 - e^{-\eta x_i})} + (\kappa - 1) \sum_{i=1}^n \frac{x_i e^{-\eta x_i} (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi-1}}{\{1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}\}} = 0. \quad (6)$$

Log-olabilirlik denklemleri doğrusal olmayan bir yapıya sahip olduğundan, kapalı formda çözümler elde edilememektedir. Bu nedenle, parametre tahmininde sayısal optimizasyon teknikleri kullanılmıştır. Bu çalışmada klasik optimizasyon yöntemlerinden Nelder-Maid algoritması kullanılmıştır.

2.2. EPE Dağılımının EKK Tahmini

EKK tahmin yöntemi, ilk olarak Swain ve ark. [8] tarafından önerilmiş olup, dağılım parametrelerinin tahmininde yaygın olarak kullanılan alternatif yaklaşımlardan biridir. Bu yöntem, sıralı gözlemlere karşılık gelen teorik dağılım fonksiyonu değerleri ile ampirik olasılık değerleri arasındaki farkların kareleri toplamını en küçük yapan parametre değerlerinin belirlenmesine dayanmaktadır. EKK tahmin edicisi aşağıdaki amaç fonksiyonunun minimize edilmesi ile elde edilmektedir:

$$EKK(\theta) = \sum_{i=1}^n \left(F(X_{(i)}) - \frac{i}{n+1} \right)^2. \quad (7)$$

EPE dağılımının EKK tahmini Eşitlik (8) in minimize edilmesiyle elde edilir:

$$EKK(\theta) = \sum_{i=1}^n \left([1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}]^{\kappa} - \frac{i}{n+1} \right)^2. \quad (8)$$

2.3. EPE Dağılımının AD Tahmini

AD tahmin yöntemi, dağılım parametrelerinin tahmininde kullanılan ve ampirik dağılım ile teorik dağılım fonksiyonu arasındaki farkları dikkate alan bir minimum uzaklık yaklaşımıdır. Bu yöntem, özellikle dağılımın kuyruk bölgelerine daha fazla ağırlık vermesi nedeniyle, ağır kuyruklu veri yapılarının modellenmesinde etkili sonuçlar vermektedir.

AD tahmin edicisi Eşitlik (9) un minimize edilmesiyle elde edilir:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) \left\{ \log F(X_{(i)}) + \log \left(1 - F(X_{(n+1-i)}) \right) \right\}. \quad (9)$$

EPE dağılımının AD tahmini Eşitlik (10) un minimize edilmesiyle elde edilir:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) \{ \log([1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}]^{\kappa}) + \log(1 - [1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}]^{\kappa}) \}. \quad (10)$$

2.4. EPE Dağılımının MPS Tahmini

MPS yöntemi, Moran [9] tarafından önerilmiştir. Bu yöntem, özellikle maksimum olabilirlik tahmincilerinin kararsız veya uygulanmasının zor olduğu durumlarda alternatif bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır. MPS yöntemi, dağılım fonksiyonuna dayalı olarak çalışmaktadır. Temel fikir, sıralı gözlemler arasındaki teorik dağılım fonksiyonu farklarının (aralıkların) çarpımını maksimize eden parametre değerlerinin belirlenmesidir. Bu yaklaşım, gözlemlerin dağılım üzerindeki konumlarını dikkate alarak daha dengeli bir tahmin süreci sunmaktadır.

MPS tahmincisi aşağıdaki amaç fonksiyonunun maksimize edilmesiyle elde edilir:

$$MPS = \prod_{i=1}^{n+1} F(X_{(i)}; \theta) - F(X_{(i-1)}; \theta). \quad (11)$$

EPE dağılımının MPS tahmini Eşitlik (12) nin maksimize edilmesiyle elde edilir:

$$AD = \prod_{i=1}^{n+1} [1 - (2 - e^{-\eta x_i})^{-\pi}]^{\kappa} - [1 - (2 - e^{-\eta x_{(i-1)}})^{-\pi}]^{\kappa}. \quad (12)$$

2.5. EPE Dağılımının Yüzdelik Tahmini

YT yöntemi, dağılım parametrelerinin tahmininde kullanılan alternatif yaklaşımlardan biri olup, teorik yüzdelikler ile örneklemden elde edilen ampirik yüzdelikler arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Bu yöntem, özellikle dağılımın ters dağılım fonksiyonunun (quantile fonksiyonu) kapalı formda elde edilebildiği durumlarda oldukça kullanışlıdır.

YT tahmin edicisi Eşitlik (13) ün minimize edilmesiyle elde edilir:

$$YT(\theta) = \sum_{i=1}^n (X_{(i)} - Q(p_i; \theta))^2. \quad (13)$$

Burada $Q(p_i; \theta)$, EPE dağılımının quantile yani ters fonksiyonudur.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, EPE dağılımının bilinmeyen parametrelerinin EÇO, EKK, AD, MPS ve YT tahmin edicileri için bir Monte Carlo simülasyon çalışması yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmasında örnek çapları $n=20, 50$ ve 100 olarak, parametre değerleri ise $\pi, \eta, \kappa = (1.0, 1.0, 1.0), (1.5, 1.2, 1.5), (0.8, 1.4, 1.2)$ olarak alınmıştır. Tahmin edicilerin performansları π ve HKO kriterlerine göre karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 1-3 de verilmiştir.

Çizelge 1. $\pi, \eta, \kappa = (1.0, 1.0, 1.0, 1.0)$ için tahmin edicilerin π ve HKO değerleri.

Yöntem	n	π_{yan}	π_{HKO}	η_{yan}	η_{HKO}	κ_{yan}	κ_{HKO}
EÇO	20	0.8421	0.8650	0.1200	0.9990	0.5531	0.3152
MPS		0.2734	0.2138	0.2000	0.6400	0.2025	0.2133
YT		0.6212	0.7989	0.5084	0.5026	0.8922	0.8048
AD		0.7368	0.8359	0.2780	0.5750	0.4667	0.3586
EKK		0.7152	0.8378	0.2461	0.6188	0.3084	0.2956
EÇO	50	0.8201	0.8350	0.1000	0.9000	0.5645	0.3242
MPS		0.2013	0.2136	0.2000	0.6400	0.2038	0.2131
YT		0.6592	0.7438	0.5015	0.8165	0.6021	0.6496
AD		0.7913	0.8646	0.2243	0.6131	0.2990	0.2240
EKK		0.7395	0.8383	0.1875	0.6699	0.4018	0.2899
EÇO	100	0.8454	0.8714	0.1200	0.9000	0.5707	0.3293
MPS		0.3473	0.2137	0.2000	0.6400	0.2033	0.2130
YT		0.6087	0.6317	0.8535	0.5142	0.5352	0.5553
AD		0.7525	0.6450	0.2123	0.6261	0.3233	0.2208
EKK		0.6593	0.5933	0.1753	0.6850	0.4168	0.2867

Çizelge 2. $\pi, \eta, \kappa = (1.5, 1.2, 1.5)$ için tahmin edicilerin π ve HKO değerleri.

Yöntem	n	π_{yan}	π_{HKO}	η_{yan}	η_{HKO}	κ_{yan}	κ_{HKO}
EÇO	20	0.8410	0.8410	0.9050	0.2004	0.7390	0.3010
MPS		0.6986	0.2014	0.2306	0.2001	0.9998	0.2022
YT		0.8295	0.6329	0.7491	0.5079	0.5031	0.7393
AD		0.7060	0.7060	0.8310	0.2835	0.7727	0.5867
EKK		0.7190	0.7190	0.8400	0.2738	0.8298	0.3863
EÇO	50	0.8150	0.8150	0.9000	0.1000	0.9000	0.3632
MPS		0.6948	0.2048	0.2295	0.1000	1.0000	0.2046
YT		0.7615	0.6615	0.6640	0.8120	0.5165	0.6589
AD		0.7896	0.6896	0.7108	0.2741	0.7855	0.5329
EKK		0.7000	0.7000	0.8250	0.2768	0.8689	0.6916
EÇO	100	0.7730	0.7730	0.8640	0.1000	0.9000	0.3583
MPS		0.6999	0.2290	0.2295	0.1000	1.0000	0.2028
YT		0.7689	0.6894	0.7051	0.6770	0.5022	0.6074
AD		0.7921	0.7218	0.6713	0.2600	0.8175	0.5919
EKK		0.7724	0.7124	0.6398	0.2530	0.9037	0.7314

Çizelge 3. $\pi, \eta, \kappa = (0.8, 1.4, 1.2)$ için tahmin edicilerin π ve HKO değerleri.

Yöntem	n	π_{yan}	π_{HKO}	η_{yan}	η_{HKO}	κ_{yan}	κ_{HKO}
EÇO	20	0.8340	0.9040	0.1400	0.8600	0.5530	0.3608
MPS		0.2022	0.2088	0.2000	0.6400	0.2016	0.2195
YT		0.6238	0.7054	0.5079	0.5019	0.7503	0.8253

AD	50	0.7590	0.8530	0.2724	0.8160	0.4676	0.7140
EKK		0.7190	0.8650	0.2006	0.7496	0.4871	0.5368
EÇO		0.8200	0.8720	0.1000	0.9000	0.5941	0.3666
MPS		0.2016	0.2081	0.2000	0.6400	0.2024	0.2192
YT		0.6579	0.7134	0.5020	0.7540	0.5665	0.6601
AD	100	0.7480	0.8060	0.1881	0.6837	0.4652	0.2774
EKK		0.8000	0.8250	0.1613	0.7038	0.5969	0.4045
EÇO		0.7990	0.8140	0.1000	0.9000	0.6033	0.3707
MPS		0.2031	0.2084	0.2000	0.6400	0.2340	0.2195
YT		0.6148	0.6204	0.7440	0.5137	0.4808	0.2486
AD	100	0.7290	0.7840	0.1765	0.7038	0.4911	0.2639
EKK		0.7640	0.7920	0.1726	0.7372	0.6211	0.4012

Çizelge 1-3 deki sonuçlara bakıldığında,

- Tüm çizelgeler genel olarak incelendiğinde, örnek hacmi n arttıkça tahmin edicilerin yan ve HKO değerlerinde belirgin bir azalma eğilimi gözlenmektedir. Bu durum, tahmin edicilerin tutarlı olduğunu göstermektedir.
- Üç çizelgede de MPS yönteminin hem yan hem de HKO açısından diğer yöntemlere kıyasla daha düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bu durum, MPS yönteminin genel olarak daha istikrarlı ve başarılı sonuçlar ürettiğini göstermektedir.
- EÇO yönteminin özellikle HKO değerleri bakımından diğer yöntemlere göre daha yüksek sonuçlar verdiği dikkat çekmektedir. Bu durum, EÇO yönteminin varyans açısından daha zayıf performans sergilediğini göstermektedir.
- YT ve AD yöntemlerinin çoğu durumda orta seviyede sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu yöntemler bazı durumlarda iyi sonuçlar üretse de genel olarak MPS kadar başarılı değildir fakat EÇO yöntemine göre de daha dengeli bir performans sergilemişlerdir.

KAYNAKÇA

- [1] Gupta, R. C., Gupta, R. D., & Gupta, P. L. (1998). Modeling failure time data by Lehman alternatives. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 27, 887–904.
- [2] Ali, M. M., Pal, M., & Woo, J. (2007). Some exponentiated distributions. *Korean Commun. Stat.*, 14, 93–109.
- [3] Shawky, A. I., & Abu-Zinadah, H. H. (2009). Exponentiated Pareto distribution: Different method of estimations. *Int. J. Contemp. Math. Sci.*, 14, 677–693.
- [4] Khan, R. U., & Kumar, D. (2010). On moments of lower generalized order statistics from exponentiated Pareto distribution and its characterization. *Appl. Math. Sci.*, 55(4), 2711–2722.

- [5]** Singh, S. K., Singh, U., & Kumar, M. (2014). Bayesian inference for exponentiated Pareto model with application to Bladder cancer remission time. *Statistics in Transition*, 15(3), 403–426.
- [6]** Mahmoud, M. A. E., Yhlea, N. M., & El-Said, S. M. (2016). Estimation of parameters for the exponentiated Pareto distribution based on progressively type-II right censored data. *Journal of the Egyptian Mathematical Society*, 24, 431–436.
- [7]** Sule, I., & Rajkoomar, M. (2026). A Novel Exponentiated Pareto Exponential Distribution with Applications in Environmental and Financial Datasets. *Stats*, 9(2), 41.
- [8]** Swain, J. J., Venkatraman, S., & Wilson, J. R. (1988). Least-squares estimation of distribution functions in Johnson's translation system. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 29(4), 271–297.
- [9]** Moran, P. A. P. (1951). A mathematical theory of animal trapping. *Biometrika*, 38(3–4), 307–311.

YÜKSEKÖĞRETİMDE AKADEMİK BAŞARI VE OKUL TERK RİSKİNİN VERİ MADENCİLİĞİ YÖNTEMLERİYLE SINIFLANDIRILMASI

Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kocatürk

Erzurum Teknik Üniversitesi,
ahmet.kocatürk@erzurum.edu.tr - 0000-0003-2542-3264

Doç. Dr. Hasan Hüseyin Gül

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

ÖZET

Yükseköğretimde öğrencilerin akademik başarı durumlarının izlenmesi, okul terk riskinin erken belirlenmesi ve öğrenci destek hizmetlerinin daha etkili planlanması açısından önemli bir konudur. Bu çalışmada, yükseköğretim öğrencilerinin akademik durumlarının veri madenciliği algoritmalarıyla sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda öğrenciler okul terki, kayıtlı öğrenci ve mezuniyet olmak üzere üç sınıfta ele alınmıştır. Çalışmada açık erişimli “Predict Students’ Dropout and Academic Success” veri seti kullanılmıştır. Veri seti 4424 öğrenciye ait 37 değişkenden oluşmaktadır. Analiz sürecinde veri seti eğitim ve test kümelerine ayrılmış; çok kategorili lojistik regresyon, karar ağacı, rastgele orman ve XGBoost algoritmaları uygulanmıştır. Modellerin performansları doğruluk, Kappa, dengeli doğruluk, makro kesinlik, makro duyarlılık ve makro F1-skoru ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Bulgular, öğrencilerin akademik durumlarının veri madenciliği yöntemleriyle kabul edilebilir düzeyde sınıflandırılabilirdiğini göstermiştir. Genel doğruluk ve Kappa değerleri bakımından en yüksek performans rastgele orman modelinden elde edilmiştir. Rastgele orman modeli 0,7905 doğruluk ve 0,6476 Kappa değerine ulaşmıştır. XGBoost modeli ise dengeli doğruluk ve makro F1-skoru bakımından çok küçük farklarla öne çıkmıştır. Sınıf bazlı sonuçlar, modellerin mezuniyet ve okul terki sınıflarında daha başarılı olduğunu, kayıtlı öğrenci sınıfının ise daha güç ayırt edildiğini göstermiştir. Değişken önem analizinde ikinci dönemde başarılı olunan ders sayısı en yüksek katkıya sahip değişken olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak, veri madenciliği algoritmalarının yükseköğretimde akademik başarı ve okul terk riskinin erken belirlenmesinde kullanılabilecek analitik bir karar destek yaklaşımı sunduğu görülmüştür. Çalışmanın Türkiye’deki yükseköğretim kurumlarında anonimleştirilmiş öğrenci verileriyle yürütülecek erken uyarı sistemi çalışmalarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler : Veri madenciliği, Akademik başarı, Sınıflandırma algoritmaları, Yükseköğretim.

1. GİRİŞ

Yükseköğretimde öğrencilerin akademik başarı durumlarının izlenmesi, yalnızca bireysel öğrenci performansının değerlendirilmesi açısından değil, aynı zamanda kurumsal kalite, öğrenci destek hizmetleri ve kaynakların etkili kullanımı açısından da önemli bir konudur. Üniversite öğrencilerinin akademik süreç içinde karşılaştıkları başarısızlık, kayıtlı kalma ya da

okul terki gibi durumlar çoğu zaman tek bir değişkenle açıklanamaz. Bu süreç; öğrencinin önceki akademik geçmişi, kayıt özellikleri, sosyoekonomik koşulları, dönem içi performansı ve kurumsal destek mekanizmalarıyla birlikte değerlendirilmesi gereken çok boyutlu bir yapıya sahiptir.

Özellikle okul terki, yükseköğretim kurumları için dikkatle izlenmesi gereken temel göstergelerden biridir. Okul terk riski taşıyan öğrencilerin geç fark edilmesi, akademik danışmanlık ve destek hizmetlerinin zamanında devreye girmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle son yıllarda yükseköğretimde yalnızca dönem sonu başarı sonuçlarına odaklanan geleneksel değerlendirme anlayışı yerine, öğrencilerin akademik süreç içindeki ilerleyişini düzenli olarak izleyen veri temelli yaklaşımlar daha fazla önem kazanmaktadır. Bu bağlamda eğitim veri madenciliği, öğrenci başarısının ve okul terk riskinin erken aşamada belirlenmesi için kullanılabilecek önemli analitik yaklaşımlardan biri olarak değerlendirilmektedir [1, 2].

Eğitim veri madenciliği, eğitim ortamlarında üretilen büyük ve karmaşık veri kümelerinden anlamlı örüntüler elde etmeyi amaçlayan bir araştırma alanıdır. Bu yaklaşım, öğrencilerin akademik performanslarını tahmin etme, risk gruplarını belirleme, öğrenme süreçlerini izleme ve karar destek sistemleri geliştirme gibi amaçlarla kullanılmaktadır [1, 2]. Makine öğrenmesi algoritmaları ise çok sayıda değişkenin aynı anda değerlendirilmesine olanak sağlayarak, öğrencilerin akademik durumlarının daha sistematik biçimde sınıflandırılmasına katkı sunmaktadır. Bu yönüyle veri madenciliği yöntemleri, yükseköğretimde yalnızca performans tahmini için değil, aynı zamanda erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi için de kullanılabilecek analitik araçlar olarak değerlendirilebilir.

Literatürde öğrenci başarısı ve okul terk riskinin tahmin edilmesine yönelik çalışmalarda farklı sınıflandırma algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Lojistik regresyon gibi klasik istatistiksel yöntemler, yorumlanabilir yapıları nedeniyle önemli bir başlangıç modeli olarak değerlendirilmektedir. Buna karşılık karar ağacı, rastgele orman ve XGBoost gibi ağaç tabanlı yöntemler, doğrusal olmayan ilişkileri yakalayabilmeleri ve değişken önemlerini ortaya koyabilmeleri nedeniyle güncel veri madenciliği çalışmalarında daha fazla öne çıkmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda da yükseköğretimde riskli öğrencilerin erken belirlenmesi, okul terk tahmini ve açıklanabilir modelleme yaklaşımlarının birlikte ele alındığı görülmektedir [3, 4]. Rastgele orman algoritması, çok sayıda karar ağacının birlikte çalışmasına dayanan güçlü bir topluluk öğrenmesi yaklaşımıdır [5]. XGBoost ise gradyan artırma yaklaşımına dayanan, ölçeklenebilirliği ve yüksek tahmin performansı nedeniyle sınıflandırma problemlerinde yaygın biçimde kullanılan güncel bir yöntemdir [6].

Bu çalışmada kullanılan “Predict Students’ Dropout and Academic Success” veri seti, yükseköğretimde öğrenci okul terki ve akademik başarı durumunun tahmin edilmesi amacıyla oluşturulmuş açık erişimli bir veri setidir [7]. Veri seti UCI Machine Learning Repository üzerinden erişime sunulmuş olup, problem üç sınıflı bir sınıflandırma görevi olarak tanımlanmaktadır: okul terki, kayıtlı öğrenci ve mezuniyet [8]. Veri setinin yükseköğretim bağlamına sahip olması ve akademik, demografik, sosyoekonomik ve dönem içi performans göstergelerini birlikte içermesi, akademik başarı ile okul terk riskinin çok değişkenli biçimde incelenmesine olanak sağlamaktadır [7, 8].

Bu çalışmanın temel amacı, yükseköğretim öğrencilerinin akademik durumlarının veri madenciliği algoritmalarıyla sınıflandırılması ve kullanılan modellerin istatistiksel performans ölçütleri bakımından karşılaştırılmasıdır. Bu kapsamda çok kategorili lojistik regresyon, karar ağacı, rastgele orman ve XGBoost modelleri uygulanmıştır. Modeller yalnızca genel doğruluk oranı bakımından değil, sınıf dağılımındaki dengesizliği dikkate alabilmek amacıyla dengeli doğruluk, makro kesinlik, makro duyarlılık ve makro F1-skoru ölçütleriyle de değerlendirilmiştir. Sınıflandırma modellerinde performans değerlendirmesinin yalnızca doğruluk oranına indirgenmemesi, özellikle dengesiz ve çok sınıflı problemlerde daha sağlıklı yorum yapılabilmesi açısından önemlidir [9].

Çalışmanın özgün katkısı, yalnızca farklı algoritmaların sınıflandırma performanslarını karşılaştırmakla sınırlı değildir. Çalışma aynı zamanda açıklanabilir veri madenciliği yaklaşımıyla, akademik durum sınıflandırmasında etkili olan değişkenleri ortaya koymayı amaçlamaktadır. Böylece elde edilen bulguların, yükseköğretimde erken uyarı sistemleri, akademik danışmanlık uygulamaları ve öğrenci destek hizmetleri için veri temelli bir karar destek çerçevesi sunması beklenmektedir. Bu yönüyle çalışma, açık erişimli uluslararası bir veri seti üzerinden yürütülmekle birlikte, benzer modelleme yaklaşımlarının Türkiye’deki yükseköğretim kurumlarında anonimleştirilmiş öğrenci verileriyle uygulanabileceğine ilişkin bir tartışma zemini de sunmaktadır.

2. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışmada kullanılan veri seti, veri ön işleme süreci, uygulanan sınıflandırma algoritmaları ve model performans ölçütleri açıklanmıştır. Analiz sürecinde öncelikle veri setinin genel yapısı incelenmiş, hedef değişkenin sınıf dağılımı değerlendirilmiş ve ardından veri seti eğitim ve test kümelerine ayrılmıştır. Daha sonra öğrencilerin akademik durumlarını sınıflandırmak amacıyla farklı veri madenciliği algoritmaları uygulanmış ve modellerin performansları çok sınıflı sınıflandırma problemine uygun ölçütlerle karşılaştırılmıştır.

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, yükseköğretim öğrencilerinin akademik başarı ve okul terk durumlarını sınıflandırmak amacıyla açık erişimli “Predict Students’ Dropout and Academic Success” veri seti kullanılmıştır [7, 8]. Veri seti, öğrencilerin demografik özellikleri, önceki eğitim geçmişleri, kayıt bilgileri, sosyoekonomik durumları, akademik dönem performansları ve bazı makroekonomik göstergeleri içeren değişkenlerden oluşmaktadır. Çalışmanın hedef değişkeni öğrencilerin akademik durumunu göstermekte olup üç kategoriden meydana gelmektedir: Dropout, Enrolled ve Graduate. Bu kategoriler çalışmada sırasıyla okul terki, kayıtlı öğrenci ve mezuniyet olarak değerlendirilmiştir. Veri setinin genel özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Veri seti toplam 4424 öğrenciye ait gözlem ve 37 değişken içermektedir. Analiz öncesinde değişken adları R ortamında düzenlenmiş, veri yapısı incelenmiş ve eksik değer kontrolü yapılmıştır. Eksik veri kontrolü sonucunda veri setinde herhangi bir eksik gözlem bulunmadığı belirlenmiştir. Hedef değişkenin dağılımını veren Çizelge 2 incelendiğinde öğrencilerin %32,12’sinin okul terki, %17,95’inin kayıtlı öğrenci ve %49,93’ünün mezuniyet kategorisinde yer aldığı görülmüştür. Bu dağılım, sınıfların tam dengeli olmadığını

göstermektedir. Bu nedenle model performanslarının değerlendirilmesinde yalnızca genel doğruluk oranı değil, sınıf dengesizliğini daha iyi dikkate alan ek performans ölçütleri de kullanılmıştır [9].

Çizelge 1. Veri Setinin Genel Özellikleri

Özellik	Değer
Veri seti	Predict Students' Dropout and Academic Success
Veri kaynağı	UCI Machine Learning Repository / açık erişimli veri seti
Gözlem sayısı	4424
Değişken sayısı	37
Hedef değişken	Akademik durum
Hedef sınıflar	Okul terki, Kayıtlı öğrenci, Mezuniyet
Eksik veri durumu	Eksik veri bulunmamaktadır.
Analiz programı	R 4.5.1

Çizelge 2. Hedef Değişkenin Sınıf Dağılımı

Akademik durum	Frekans	Yüzde
Okul terki	1421	32,12
Kayıtlı öğrenci	794	17,95
Mezuniyet	2209	49,93
Toplam	4424	100,00

2.2. Veri Ön İşleme Süreci

Analiz öncesinde veri seti R ortamına aktarılmış ve değişken adları modelleme sürecinde kullanılabilir hale getirilmiştir. Veri setinde eksik değer bulunmadığı için herhangi bir gözlem silme ya da eksik değer tamamlama işlemi yapılmamıştır. Hedef değişken üç kategorili faktör değişken olarak tanımlanmış ve öğrencilerin akademik durumları okul terki, kayıtlı öğrenci ve mezuniyet olmak üzere üç sınıf üzerinden ele alınmıştır.

Model performanslarının tarafsız biçimde değerlendirilebilmesi için veri seti eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. Bu ayrımında hedef değişkenin sınıf dağılımının korunmasına dikkat edilmiş ve veri setinin yaklaşık %80'i eğitim, %20'si test verisi olarak kullanılmıştır. Eğitim veri setinde 3541, test veri setinde ise 883 gözlem yer almıştır. Çizelge 3'de eğitim ve test veri kümelerindeki sınıf dağılımlarının birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, model performanslarının değerlendirilmesinde eğitim-test ayırımından kaynaklanabilecek sınıf dağılımı bozulmalarını azaltmaktadır.

Tüm analizler R 4.5.1 programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir [10]. Veri düzenleme, modelleme ve görselleştirme süreçlerinde caret, ggplot2, randomForest ve xgboost paketlerinden yararlanılmıştır. Model eğitim ve değerlendirme sürecinde caret [11], görselleştirme sürecinde ggplot2 [12] ve rastgele orman modelinin uygulanmasında randomForest [13] paketleri kullanılmıştır. XGBoost algoritması için temel yöntemsel kaynak olarak Chen ve Guestrin'in çalışması esas alınmıştır [6].

Çizelge 3. Eğitim ve Test Veri Kümelerinde Hedef Değişken Dağılımı

Veri kümesi	Okul terki n (%)	Kayıtlı öğrenci n (%)	Mezuniyet n (%)	Toplam
Eğitim verisi	1137 (32,11)	636 (17,96)	1768 (49,93)	3541
Test verisi	284 (32,16)	158 (17,89)	441 (49,94)	883

2.3. Kullanılan Sınıflandırma Algoritmaları

Bu çalışmada, öğrencilerin akademik durumlarını sınıflandırmak amacıyla dört farklı sınıflandırma algoritması kullanılmıştır. Algoritmaların seçiminde hem klasik istatistiksel modelleme yaklaşımını hem de güncel makine öğrenmesi yöntemlerini birlikte değerlendirebilmek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çok kategorili lojistik regresyon, karar ağacı, rastgele orman (random forest) ve XGBoost algoritmaları uygulanmıştır.

Çok kategorili lojistik regresyon, hedef değişkenin ikiden fazla sınıfa sahip olduğu durumlarda kullanılan temel ve yorumlanabilir bir istatistiksel sınıflandırma yöntemidir. Bu çalışmada çok kategorili lojistik regresyon, daha karmaşık makine öğrenmesi algoritmalarıyla karşılaştırma yapabilmek için temel model olarak ele alınmıştır. Karar ağacı ise sınıflandırma sürecini değişkenlere dayalı ayırım kuralları üzerinden yürütmektedir. Bu yönüyle karar ağacı, modelin hangi değişkenler üzerinden sınıflandırma yaptığını görsel ve anlaşılır biçimde sunabilmesi nedeniyle yorumlanabilirlik açısından avantajlıdır.

Rastgele orman algoritması, çok sayıda karar ağacının birlikte kullanılması esasına dayanan bir topluluk öğrenmesi yöntemidir. Tek bir karar ağacının aşırı uyum gösterme riskini azaltması ve daha kararlı sınıflandırma sonuçları üretebilmesi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır [5, 13]. XGBoost ise gradyan artırma yaklaşımına dayanan güçlü bir makine öğrenmesi algoritmasıdır. Sıralı biçimde kurulan zayıf öğrenciler üzerinden hataları azaltmayı amaçlayan bu yöntem, özellikle sınıflandırma problemlerinde yüksek tahmin performansı ve değişken önemlerini ortaya koyabilme kapasitesi nedeniyle güncel çalışmalarda sık tercih edilmektedir [6].

Bu dört algoritmanın birlikte kullanılması, öğrencilerin akademik durumlarının sınıflandırılmasında klasik istatistiksel modelleme yaklaşımı ile ağaç tabanlı makine öğrenmesi yöntemlerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaktadır. Ayrıca rastgele orman ve XGBoost modellerinden elde edilen değişken önemleri, çalışmanın açıklanabilirlik boyutunu desteklemek amacıyla değerlendirilmiştir. Böylece çalışma yalnızca hangi modelin daha yüksek performans gösterdiğini değil, sınıflandırma sürecinde hangi değişkenlerin daha belirleyici olduğunu da ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2.4. Model Performans Ölçütleri

Bu çalışmada kullanılan sınıflandırma algoritmalarının performansları test veri seti üzerinden değerlendirilmiştir. Hedef değişken üç sınıftan oluştuğu için modeller yalnızca doğru ve yanlış sınıflandırma sayıları üzerinden değil, çok sınıflı sınıflandırma problemlerine uygun performans ölçütleriyle karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda model performanslarının

değerlendirilmesinde doğruluk, dengeli doğruluk, makro kesinlik, makro duyarlılık ve makro F1-skoru ölçütleri kullanılmıştır.

Veri setinde sınıf dağılımı tam dengeli değildir. Özellikle kayıtlı öğrenci sınıfının okul terki ve mezuniyet sınıflarına göre daha düşük oranda temsil edildiği görülmektedir. Bu nedenle yalnızca genel doğruluk oranına dayalı bir değerlendirme yapmak yeterli değildir. Çünkü genel doğruluk değeri yüksek olsa bile, daha az temsil edilen sınıflarda düşük tahmin başarısı ortaya çıkabilir. Bu nedenle çalışmada doğruluk oranının yanında sınıf dengesizliğini ve sınıflar arası tahmin başarısını daha iyi yansıtan ek ölçütler de kullanılmıştır [9].

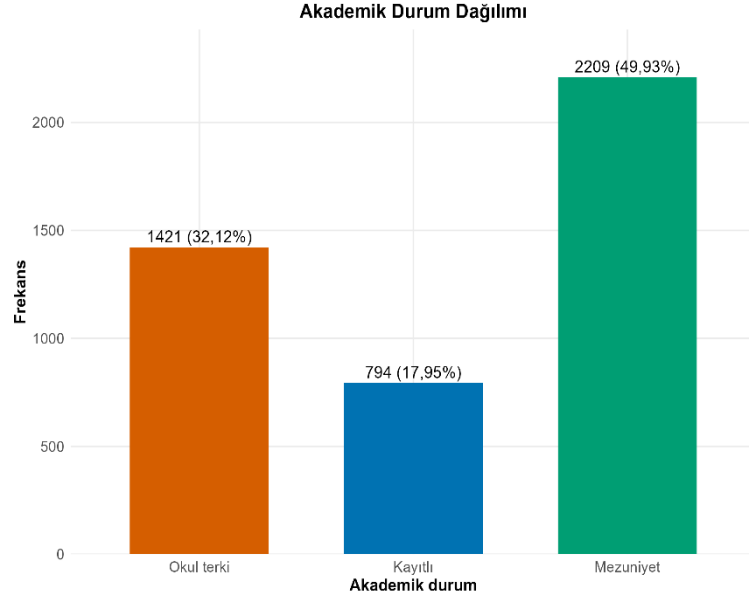
Doğruluk (accuracy), modelin tüm sınıflar genelinde doğru tahmin oranını göstermektedir. Dengeli doğruluk (balanced accuracy), her sınıf için elde edilen başarıyı dikkate alarak sınıflar arasındaki dengesizliğin etkisini azaltmaya yardımcı olur. Makro kesinlik (macro precision), her sınıf için hesaplanan kesinlik değerlerinin ortalamasını; makro duyarlılık (macro recall) ise her sınıf için hesaplanan duyarlılık değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir. Makro F1-skoru (macro F1-score), makro kesinlik ve makro duyarlılık değerlerini birlikte dikkate alan özet bir performans ölçütüdür. Bu nedenle özellikle sınıf dağılımının dengeli olmadığı çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde daha açıklayıcı bir değerlendirme sunmaktadır [9].

Bu ölçütlerin birlikte kullanılması, modellerin yalnızca genel doğruluk açısından değil, sınıflar arası tahmin başarısı açısından da karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır. Böylece bir modelin yüksek genel doğruluk üretmesine rağmen belirli bir sınıfta zayıf kalıp kalmadığı daha açık biçimde değerlendirilebilmiştir.

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Tanımlayıcı Bulgular

Veri setinde yer alan hedef değişken, öğrencilerin akademik durumlarını üç sınıfta göstermektedir: okul terki, kayıtlı öğrenci ve mezuniyet. Hedef değişkenin dağılımı incelendiğinde, öğrencilerin 1421'inin okul terki, 794'ünün kayıtlı öğrenci ve 2209'unun mezuniyet kategorisinde yer aldığı belirlenmiştir. Buna göre veri setindeki öğrencilerin %32,12'si okul terki, %17,95'i kayıtlı öğrenci ve %49,93'ü mezuniyet sınıfındadır.



Görsel 1. Hedef Değişkenin Sınıf Dağılımı

Görsel 1, veri setinde en yüksek oranın mezuniyet sınıfına ait olduğunu göstermektedir. Buna karşılık kayıtlı öğrenci sınıfı, hem okul terki hem de mezuniyet sınıflarına göre daha düşük oranda temsil edilmektedir. Bu yapı, sınıflandırma modellerinde özellikle kayıtlı öğrenci sınıfının ayırt edilmesinin daha güç olabileceğine işaret etmektedir.

Hedef değişkenin sınıf dağılımına ek olarak, akademik durum sınıfları bazı temel göstergeler bakımından da incelenmiştir. Veri setinde çok sayıda demografik, sosyoekonomik, akademik ve makroekonomik değişken bulunmakla birlikte, Çizelge 4’te özellikle öğrencilerin akademik ilerleme durumunu doğrudan yansıtan ve modelleme sürecinde yorumlanabilirliği yüksek olan değişkenlere yer verilmiştir. Bu kapsamda kayıt yaşı, kabul notu, birinci ve ikinci dönemde başarılı olunan ders sayıları, dönem not ortalamaları ve öğrenim ücretinin güncelliği değerlendirilmiştir. Bu değişkenler, sınıflar arasındaki temel akademik ve yönetsel farklılıkları özetlemek amacıyla seçilmiştir; sınıflandırma modellerinde ise veri setindeki tüm açıklayıcı değişkenler kullanılmıştır.

Çizelge 4. Akademik Durum Sınıflarına Göre Seçilmiş Değişkenlerin Tanımlayıcı İstatistikleri

Değişken	Okul terki	Kayıtlı öğrenci	Mezuniyet	p
Kayıt yaşı	26,07 ± 8,70	22,37 ± 6,30	21,78 ± 6,69	<0,001
Kabul notu	124,96 ± 15,13	125,53 ± 13,79	128,79 ± 14,07	<0,001
1. dönem başarılı ders sayısı	2,55 ± 2,86	4,32 ± 2,29	6,23 ± 2,58	<0,001
1. dönem not ortalaması	7,26 ± 6,03	11,13 ± 3,68	12,64 ± 2,70	<0,001
2. dönem başarılı ders sayısı	1,94 ± 2,57	4,06 ± 2,18	6,18 ± 2,27	<0,001
2. dönem not ortalaması	5,90 ± 6,12	11,12 ± 3,60	12,70 ± 2,69	<0,001
Öğrenim ücreti güncelliği (%)	67,84	94,71	98,69	<0,001

Not: Sayısal değişkenler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Sayısal değişkenler için Kruskal-Wallis testi, öğrenim ücreti güncelliği için ki-kare testi kullanılmıştır.

Çizelge 4 incelendiğinde, akademik durum sınıfları arasında özellikle dönem içi akademik performans göstergeleri bakımından belirgin farklılıklar olduğu görülmektedir. Mezuniyet sınıfındaki öğrencilerin başarılı olunan ders sayısı ve dönem not ortalaması değerleri diğer sınıflara göre daha yüksektir. Buna karşılık okul terki sınıfında bu göstergeler belirgin biçimde daha düşük düzeydedir. Örneğin ikinci dönemde başarılı olunan ders sayısı okul terki sınıfında $1,94 \pm 2,57$ iken, kayıtlı öğrenci sınıfında $4,06 \pm 2,18$ ve mezuniyet sınıfında $6,18 \pm 2,27$ 'dir. Benzer biçimde öğrenim ücreti güncelliği oranı okul terki sınıfında %67,84 iken, kayıtlı öğrenci sınıfında %94,71 ve mezuniyet sınıfında %98,69'dur.

Seçilmiş değişkenlere ilişkin karşılaştırmalarda tüm p değerlerinin $<0,001$ olması, akademik durum sınıfları arasında bu göstergeler bakımından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunduğunu göstermektedir. Ancak bu sonuçlar, çalışmanın temel amacı bir hipotez testi yürütmek olmadığı için destekleyici tanımlayıcı bulgular olarak değerlendirilmiştir. Genel olarak bu bulgular, dönem içi akademik performans ve öğrenim ücreti güncelliği gibi değişkenlerin okul terki, kayıtlı kalma ve mezuniyet durumlarını ayırt etmede anlamlı sinyaller taşıyabileceğine işaret etmektedir.

Bu tanımlayıcı bulgular, model performanslarının yalnızca genel doğruluk oranı ile değerlendirilmemesi gerektiğini de desteklemektedir. Hedef değişkenin sınıf dağılımı dengeli olmadığı için çalışmada doğruluk oranının yanında dengeli doğruluk, makro kesinlik, makro duyarlılık ve makro F1-skoru ölçütleri birlikte kullanılmıştır [9].

3.2. Model Performanslarının Karşılaştırılması

Bu bölümde çok kategorili lojistik regresyon, karar ağacı, rastgele orman ve XGBoost modellerinin test veri seti üzerindeki sınıflandırma performansları karşılaştırılmıştır. Modellerin değerlendirilmesinde doğruluk, Kappa, dengeli doğruluk, makro kesinlik, makro duyarlılık ve makro F1-skoru ölçütleri kullanılmıştır. Hedef değişkenin üç sınıftan oluşması ve sınıf dağılımının tam dengeli olmaması nedeniyle modeller yalnızca genel doğruluk oranına göre değil, sınıflar arası performans dengesini dikkate alan ölçütlerle birlikte değerlendirilmiştir. Bu nedenle model sonuçları, sınıf dengesizliği bulunan çok sınıflı sınıflandırma problemlerinde önerildiği üzere birden fazla performans ölçütüyle birlikte yorumlanmıştır [9].

Çizelge 5. Sınıflandırma Algoritmalarının Performans Ölçütleri

Model	Doğruluk	Kappa	Dengeli doğruluk	Makro kesinlik	Makro duyarlılık	Makro F1-skoru
Çok kategorili lojistik regresyon	0,7712	0,6160	0,7738	0,6908	0,6711	0,6700
Karar ağacı	0,7407	0,5717	0,7650	0,6799	0,6690	0,6733
Rastgele orman	0,7905	0,6476	0,7927	0,7355	0,7013	0,7088
XGBoost	0,7848	0,6423	0,7946	0,7233	0,7043	0,7092

Çizelge 5 incelendiğinde, genel doğruluk oranı bakımından en yüksek değer rastgele orman modelinden elde edildiği görülmektedir. Rastgele orman modeli 0,7905 doğruluk ve

0,6476 Kappa değeri üretmiştir. XGBoost modeli ise 0,7848 doğruluk ve 0,6423 Kappa değeri ile rastgele orman modeline oldukça yakın bir performans göstermiştir. Çok kategorili lojistik regresyon modeli 0,7712 doğruluk değerine ulaşırken, karar ağacı modeli 0,7407 ile en düşük genel doğruluk değerini üretmiştir.

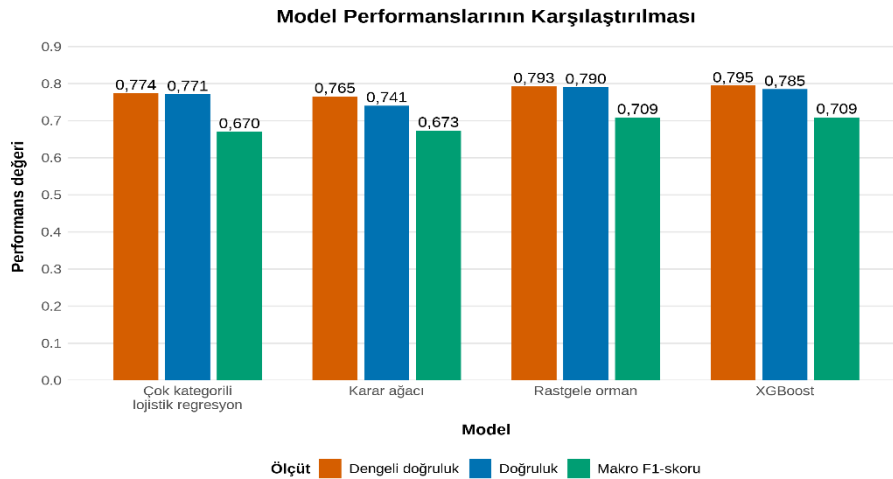
Dengeli doğruluk ve makro F1-skoru değerleri dikkate alındığında ise XGBoost modelinin çok sınırlı bir üstünlük gösterdiği görülmektedir. XGBoost modelinde dengeli doğruluk 0,7946 ve makro F1-skoru 0,7092 olarak hesaplanmıştır. Rastgele orman modeli ise 0,7927 dengeli doğruluk ve 0,7088 makro F1-skoru değerleriyle XGBoost modeline oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bu bulgular, tek bir modelin tüm ölçütlerde açık biçimde üstün olmadığını göstermektedir. Genel doğruluk ve Kappa açısından rastgele orman modeli öne çıkarken, sınıf dengesini dikkate alan ölçütlerde XGBoost modeli küçük bir farkla daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

Çizelge 6. Modellerin Sınıf Bazlı Duyarlılık Değerleri

Model	Okul terki	Kayıtlı öğrenci	Mezuniyet
Çok kategorili lojistik regresyon	0,8275	0,2722	0,9138
Karar ağacı	0,7535	0,3987	0,8549
Rastgele orman	0,8134	0,3608	0,9297
XGBoost	0,8134	0,3924	0,9070

Not: Değerler test veri seti üzerinde hesaplanan sınıf bazlı duyarlılık değerleridir.

Çizelge 6’da yer alan sınıf bazlı duyarlılık değerleri, modellerin her sınıfta aynı düzeyde başarılı olmadığını göstermektedir. Modeller genel olarak mezuniyet ve okul terki sınıflarında daha yüksek duyarlılık değerleri üretmiştir. Buna karşılık kayıtlı öğrenci sınıfında tahmin başarısı daha sınırlı kalmıştır. Kayıtlı öğrenci sınıfında en yüksek duyarlılık değeri karar ağacı modelinde 0,3987 ve XGBoost modelinde 0,3924 olarak elde edilmiştir. Çok kategorili lojistik regresyon modelinde ise bu değer 0,2722 düzeyinde kalmıştır. Bu sonuç, kayıtlı öğrenci kategorisinin okul terki ve mezuniyet sınıflarına göre model açısından daha belirsiz ve geçişken bir yapı gösterdiğini düşündürmektedir.

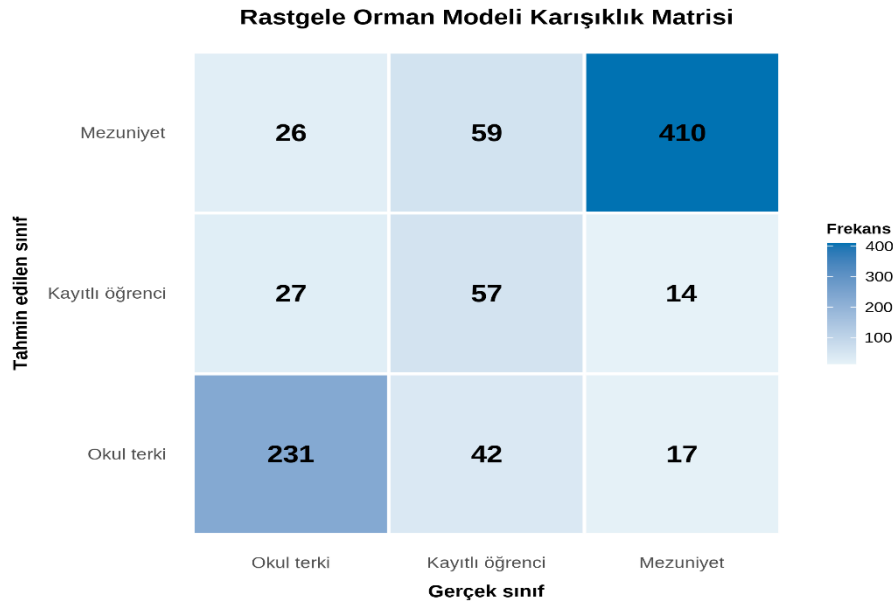


Görsel 2. Sınıflandırma Modellerinin Performans Karşılaştırması

Görsel 2’de, modellerin karşılaştırılmasında daha özet ve okunabilir bir görünüm sunmak amacıyla üç temel ölçüte yer verilmiştir: doğruluk, dengeli doğruluk ve makro F1-skoru. Doğruluk genel sınıflandırma başarısını, dengeli doğruluk sınıf dengesizliği karşısındaki model başarısını, makro F1-skoru ise kesinlik ve duyarlılığı birlikte dikkate alan genel performans düzeyini göstermektedir. Kappa, makro kesinlik ve makro duyarlılık değerleri ayrıntılı karşılaştırma amacıyla Çizelge 5’te verilmiş; görselde ise model performansının daha kolay izlenebilmesi için temel üç ölçüt öne çıkarılmıştır.

Görsel 2, rastgele orman ve XGBoost modellerinin diğer modellere göre daha yüksek ve birbirine oldukça yakın performans değerleri ürettiğini göstermektedir. Rastgele orman modeli genel doğruluk bakımından öne çıkarken, XGBoost modeli dengeli doğruluk ve makro F1-skoru bakımından çok küçük farklarla daha yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu sonuç, model seçiminde yalnızca genel doğruluk oranının değil, sınıf dengesizliğini ve sınıflar arası tahmin başarısını dikkate alan ölçütlerin de birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Karışıklık matrisi görselleştirmesi için rastgele orman modelinin seçilmesinin nedeni, bu modelin genel doğruluk ve Kappa değerleri bakımından en yüksek performansı göstermesidir. Böylece en başarılı genel modelin hangi sınıflarda doğru, hangi sınıflarda hatalı tahminler ürettiği daha ayrıntılı biçimde incelenmiştir.



Görsel 3. Rastgele Orman Modeline Ait Karışıklık Matrisi

Görsel 3’te rastgele orman modeline ait karışıklık matrisi verilmiştir. Görsel incelendiğinde, modelin özellikle mezuniyet ve okul terki sınıflarında daha güçlü tahminler ürettiği görülmektedir. Mezuniyet sınıfındaki 441 öğrencinin 410’u, okul terki sınıfındaki 284 öğrencinin ise 231’i doğru sınıflandırılmıştır. Buna karşılık kayıtlı öğrenci sınıfında tahmin başarısı daha sınırlıdır. Kayıtlı öğrenci sınıfındaki 158 öğrencinin 57’si doğru sınıflandırılmış, önemli bir bölümü okul terki veya mezuniyet sınıflarına atanmıştır.

Bu bulgu, kayıtlı öğrenci sınıfının modelleme açısından daha karmaşık bir kategori olduğunu göstermektedir. Okul terki ve mezuniyet daha belirgin sonuç durumlarını temsil ederken, kayıtlı öğrenci sınıfı eğitim sürecinin devam ettiği ve nihai akademik sonucun henüz kesinleşmediği bir ara duruma karşılık gelmektedir. Bu nedenle kayıtlı öğrenci sınıfının hem okul terki hem de mezuniyet sınıflarıyla benzer özellikler taşıması mümkündür. Modelin bu sınıfta daha düşük tahmin başarısı göstermesi, erken uyarı sistemlerinde ara durumdaki öğrencilerin daha dikkatli izlenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

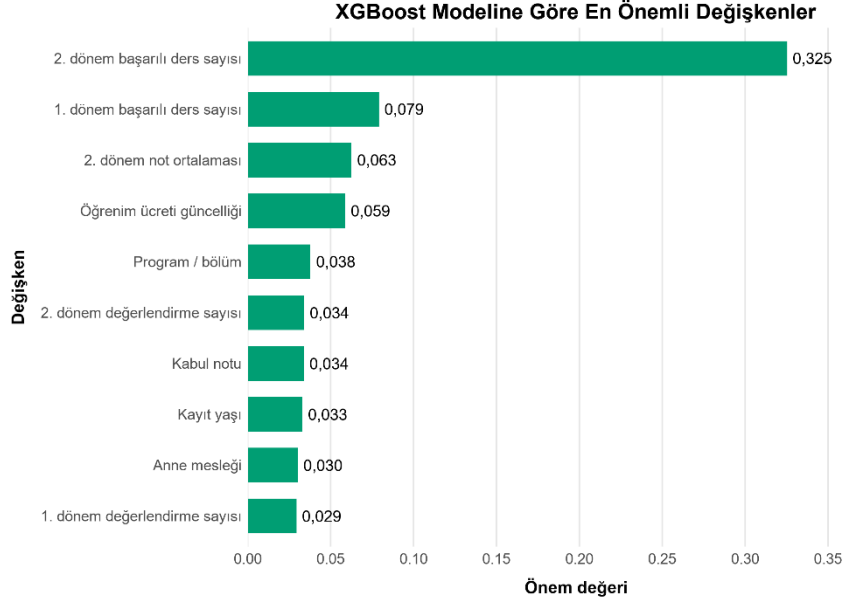
3.3. Değişken Önemine İlişkin Bulgular

Model performanslarının karşılaştırılmasının ardından, sınıflandırma kararlarında hangi değişkenlerin daha fazla katkı sağladığını incelemek amacıyla değişken önem analizi yapılmıştır. Bu aşamada özellikle XGBoost modelinden elde edilen değişken önem değerleri dikkate alınmıştır. Bunun nedeni, XGBoost modelinin dengeli doğruluk ve makro F1-skoru bakımından en yüksek değerlere ulaşması ve sınıflar arası performans dengesini görece daha iyi yansıtmasıdır. Böylece yalnızca modelin tahmin başarısı değil, bu tahminlerin hangi değişkenler üzerinden şekillendiği de değerlendirilmiştir [6].

XGBoost modeline göre öğrencilerin akademik durumlarının sınıflandırılmasında en yüksek katkıya sahip değişken ikinci dönemde başarılı olunan ders sayısı olmuştur. Bu değişkenin diğer değişkenlere göre açık biçimde daha yüksek önem değerine sahip olması dikkat çekicidir. Bu bulgu, öğrencinin güncel akademik ilerleme durumunun okul terki, kayıtlı kalma ve mezuniyet ayrımında güçlü bir sınıflandırma göstergesi olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak bu sonuç nedensel bir ilişki olarak değil, modelin sınıflandırma kararlarında bu değişkenden yoğun biçimde yararlandığını gösteren bir bulgu olarak değerlendirilmelidir.

İkinci düzeyde öne çıkan değişkenler ise birinci dönemde başarılı olunan ders sayısı, ikinci dönem not ortalaması, öğrenim ücreti güncelliği, program/bölüm, ikinci dönem değerlendirme sayısı, kabul notu, kayıt yaşı, anne mesleği ve birinci dönem değerlendirme sayısı olmuştur. Bu değişkenlerin genel yapısı incelendiğinde, modelin özellikle akademik performans ve akademik ilerleme göstergelerine duyarlı olduğu görülmektedir. Demografik ve sosyoekonomik değişkenler tamamen etkisiz değildir; ancak ilk sıralarda daha çok öğrencinin dönem içindeki akademik performansını ve akademik sisteme katılımını yansıtan değişkenler yer almaktadır.

Bu sonuçlar, yükseköğretimde okul terk riski ve akademik başarı durumunun yalnızca öğrencinin başlangıçtaki demografik özellikleriyle açıklanamayacağını göstermektedir. Başarılı olunan ders sayısı, dönem not ortalaması ve değerlendirmelere katılım gibi dönem içi göstergeler, öğrencinin sistem içindeki akademik hareketliliğini daha doğrudan yansıtmaktadır. Bu nedenle erken uyarı sistemleri tasarlanırken yalnızca kayıt anındaki bilgilerle yetinilmemesi; öğrencinin dönem boyunca ürettiği akademik performans verilerinin de düzenli olarak izlenmesi gerekmektedir.



Görsel 4. Xgboost Modeline Göre En Önemli Değişkenler

Görsel 4, XGBoost modelinde en yüksek önem değerinin ikinci dönemde başarılı olunan ders sayısı değişkenine ait olduğunu göstermektedir. Bu değişkenin önem değerinin diğer değişkenlerden belirgin biçimde yüksek olması, dönem içi akademik ilerlemenin erken risk belirleme süreçlerinde kritik bir gösterge olarak kullanılabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca ilk on değişken arasında başarılı olunan ders sayıları, dönem not ortalaması ve değerlendirme sayılarının yer alması, öğrenci başarısının sınıflandırılmasında akademik süreç göstergelerinin merkezi konumda olduğunu ortaya koymaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, yükseköğretim öğrencilerinin akademik durumları okul terki, kayıtlı öğrenci ve mezuniyet olmak üzere üç sınıfta ele alınmış; çok kategorili lojistik regresyon, karar ağacı, rastgele orman ve XGBoost modelleri karşılaştırılmıştır. Model performansları doğruluk, Kappa, dengeli doğruluk, makro kesinlik, makro duyarlılık ve makro F1-skoru ölçütleriyle değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular, öğrencilerin akademik durumlarının veri madenciliği yöntemleriyle kabul edilebilir düzeyde sınıflandırılabildiğini göstermektedir. Genel doğruluk ve Kappa değerleri bakımından en yüksek performans rastgele orman modelinden elde edilmiştir. Buna karşılık XGBoost modeli, dengeli doğruluk ve makro F1-skoru bakımından çok küçük farklarla öne çıkmıştır. Bu sonuç, özellikle sınıf dağılımının dengeli olmadığı veri yapılarında model performansının yalnızca genel doğruluk oranıyla değerlendirilmemesi gerektiğini göstermektedir.

Sınıf bazlı bulgular, modellerin özellikle mezuniyet ve okul terki sınıflarında daha başarılı tahminler ürettiğini; buna karşılık kayıtlı öğrenci sınıfının ayırt edilmesinin daha güç olduğunu ortaya koymuştur. Kayıtlı öğrenci sınıfının nihai bir akademik sonuçtan çok sürecin devam

ettiği bir ara durumu temsil etmesi, bu sınıftaki tahmin başarısının daha sınırlı kalmasını açıklayabilir.

Değişken önem analizi, öğrencilerin akademik durumlarının sınıflandırılmasında en güçlü göstergelerin dönem içi akademik ilerleme değişkenleri olduğunu göstermiştir. Özellikle ikinci dönemde başarılı olunan ders sayısı, XGBoost modelinde en yüksek önem değerine sahip değişken olarak belirlenmiştir. Bu bulgu, okul terk riski ve akademik başarı durumunun yalnızca demografik ya da sosyoekonomik özelliklerle değil, öğrencinin dönem içindeki akademik hareketliliğiyle de yakından ilişkili olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın temel katkısı, veri madenciliği yöntemlerinin yükseköğretimde erken uyarı sistemleri için kullanılabilir bir analitik zemin sunduğunu göstermesidir. Dönem içinde başarılı olunan ders sayısı, dönem not ortalaması ve değerlendirmelere katılım gibi göstergeler düzenli biçimde izlendiğinde, akademik risk taşıyan öğrencilerin daha erken belirlenmesi mümkün olabilir. Bu tür bir yaklaşım, akademik danışmanlık süreçlerinin daha veri temelli yürütülmesine ve öğrenci destek hizmetlerinin daha hedefli biçimde planlanmasına katkı sağlayabilir.

Çalışma açık erişimli uluslararası bir veri seti üzerinde yürütülmüştür. Bu nedenle bulguların doğrudan Türkiye yükseköğretim sistemine genellenmesi sınırlıdır. Bununla birlikte, kullanılan modelleme yaklaşımı Türkiye'deki yükseköğretim kurumları için uygulanabilir bir çerçeve sunmaktadır. Üniversitelerin öğrenci bilgi sistemlerinde yer alan anonimleştirilmiş ders kayıtları, dönem içi başarı göstergeleri, devam durumu ve sınav performansları kullanılarak benzer erken uyarı modelleri geliştirilebilir.

Sonuç olarak, çalışma rastgele orman ve XGBoost modellerinin öğrencilerin akademik durumlarının sınıflandırılmasında güçlü performans sergilediğini; değişken önem sonuçlarının ise erken uyarı sistemleri için anlamlı göstergeler sunduğunu ortaya koymaktadır. Gelecek çalışmalarda benzer modelleme yaklaşımlarının Türkiye'deki üniversitelerden elde edilecek anonimleştirilmiş öğrenci verileriyle uygulanması, akademik danışmanlık, öğrenci destek hizmetleri ve yükseköğretimde kalite güvence süreçlerine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

1. Baker, R. S. J. D. ve Yacef, K. (2009). The state of educational data mining in 2009: A review and future visions. *Journal of Educational Data Mining*, 1(1), 3–17. <https://jedm.educationaldatamining.org/index.php/JEDM/article/view/8>.
2. Romero, C. ve Ventura, S. (2010). Educational data mining: A review of the state of the art. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 40(6), 601–618. <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2010.2053532>
3. Goren, O., Cohen, L. ve Rubinstein, A. (2024). Early prediction of student dropout in higher education using machine learning models. *Proceedings of the 17th International Conference on Educational Data Mining*, 357–362. <https://educationaldatamining.org/edm2024/proceedings/2024.EDM-short-papers.32/index.html>

4. Mustofa, S., Emon, Y. R., Mamun, S. B., Akhy, S. A. ve Ahad, M. T. (2025). A novel AI-driven model for student dropout risk analysis with explainable AI insights. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100352. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100352>
5. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45, 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
6. Chen, T. ve Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
7. Realinho, V., Machado, J., Baptista, L. ve Martins, M. V. (2022). Predicting student dropout and academic success. *Data*, 7(11), 146. <https://doi.org/10.3390/data7110146>
8. UCI Machine Learning Repository. (2021). Predict Students' Dropout and Academic Success. University of California, Irvine. <https://archive.ics.uci.edu/dataset/697/predict+students+dropout+and+academic+success> (Erişim tarihi: 03.05.2026)
9. Sokolova, M. ve Lapalme, G. (2009). A systematic analysis of performance measures for classification tasks. *Information Processing & Management*, 45(4), 427–437. <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2009.03.002>
10. R Core Team. (2025). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
11. Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of Statistical Software*, 28(5), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>
12. Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag New York. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24277-4>
13. Liaw, A. ve Wiener, M. (2002). Classification and regression by randomForest. *R News*, 2(3), 18–22. <https://journal.r-project.org/articles/RN-2002-022/>

TÜRKİYE’DE YAPAY ZEKÂYA GÜVENİN SOSYO-DİJİTAL BELİRLEYİCİLERİ: YORUMLANABİLİR MAKİNE ÖĞRENMESİ YAKLAŞIMI

Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Kocatürk

Erzurum Teknik Üniversitesi,
ahmet.kocaturk@erzurum.edu.tr - 0000-0003-2542-3264

Doç. Dr. Hasan Hüseyin Gül

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

ÖZET

Yapay zekâ teknolojilerinin gündelik yaşamda ve karar alma süreçlerinde giderek yaygınlaşması, bireylerin bu teknolojilere duyduğu güvenin hangi değişkenlerle ilişkili olduğunu önemli bir araştırma konusu haline getirmiştir. Bu çalışma, Türkiye’de yapay zekâya güven düzeyinin sosyo-demografik, dijital ve tutumsal belirleyicilerini yorumlanabilir makine öğrenmesi yaklaşımlarıyla incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada TGSS 2024 veri seti kullanılmış; yapay zekâya güven sorusuna geçerli yanıt veren 1011 katılımcı analitik örnekleme dahil edilmiştir. Tam veri gerektiren modelleme aşamasında analizler 673 katılımcı üzerinden yürütülmüştür. Yapay zekâya güven değişkeni düşük, orta ve yüksek güven olmak üzere üç kategorili hedef değişkene dönüştürülmüştür. Analizlerde ki-kare testi, Cramer’s V, Kruskal-Wallis testi, karar ağacı, Random Forest ve multinominal lojistik regresyon modelleri kullanılmıştır. Bulgular, yapay zekâya güveni açıklamada demografik değişkenlerden çok yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, yapay zekâ kullanım sıklığı, yapay zekâ bilgi düzeyi ve bilim-teknolojiye yönelik genel tutumların öne çıktığını göstermiştir. Random Forest modeli en yüksek genel sınıflandırma başarısını üretirken, karar ağacı modeli güven düzeylerini ayıran temel karar yollarını görünür kılmıştır. Bununla birlikte tüm modellerde yüksek güven sınıfının sınıflandırılmasında sınırlılıklar görülmüştür. Genel olarak çalışma, yapay zekâya güvenin yalnızca dijital erişim ya da demografik özelliklerle değil, bireylerin yapay zekâya ilişkin algı, deneyim ve bilgi düzeyleriyle birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler : Yapay zekâya güven, yorumlanabilir makine öğrenmesi, Random Forest, karar ağacı, yapay zekâ kullanımı.

1. GİRİŞ

Yapay zekâ teknolojileri artık yalnızca teknik uzmanlık alanlarının konusu değildir. Arama motorları, öneri sistemleri, çeviri uygulamaları, sanal asistanlar ve büyük dil modelleri aracılığıyla gündelik yaşamın olağan parçalarından biri haline gelmiştir. Özellikle üretken yapay zekâ uygulamalarının yaygınlaşması, bireylerin yapay zekâ ile karşılaşma biçimlerini çeşitlendirmiştir. Bu dönüşüm, yapay zekânın yalnızca ne kadar etkili olduğu sorusunu değil, toplum tarafından nasıl algılandığı, ne ölçüde kullanıldığı ve ne kadar güvenilir bulunduğu sorularını da öne çıkarmaktadır [1–3].

Yapay zekâya güven, bu teknolojilerin benimsenmesi ve sürdürülebilir biçimde kullanılması açısından temel bir değişkendir. Güncel literatür, yapay zekâya güvenin yalnızca sistemlerin doğruluğu, güvenliği veya performansı ile açıklanamayacağını; etik, hukuki, sosyal ve kurumsal boyutların da bu güvenin oluşumunda etkili olduğunu göstermektedir [1,4]. Afroogh ve arkadaşları, yapay zekâya güvenin insan-makine etkileşimlerinde teknoloji kabulünü etkileyen çok boyutlu bir yapı olduğunu ve teknik ölçütlerin yanında etik, hukuki ve toplumsal güvenilirlik boyutlarıyla birlikte ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır [1]. Benzer biçimde OECD Yapay Zekâ İlkeleri, güvenilir yapay zekâyı insan hakları, demokratik değerler, şeffaflık, hesap verebilirlik ve sorumlu yönetim çerçevesinde ele almaktadır [4].

Yapay zekâya yönelik toplumsal güvenin önemi güncel küresel araştırmalarda da açık biçimde görülmektedir. KPMG ve University of Melbourne tarafından 47 ülkede 48.000’den fazla katılımcıyla yürütülen 2025 tarihli küresel çalışma, yapay zekâ kullanımının yaygınlaştığını; ancak güven, risk algısı, düzenleme beklentisi ve yapay zekâ okuryazarlığının hâlâ kritik sorun alanları olduğunu göstermektedir [2]. Bu bulgu, yapay zekâ kullanımının artmasının her zaman aynı ölçüde güven artışı anlamına gelmediğini düşündürmektedir. Dolayısıyla yapay zekâya güven, yalnızca bireysel teknoloji kullanımıyla değil; toplumsal fayda beklentisi, risk algısı, bilgi düzeyi, kullanım deneyimi ve bilim-teknolojiye yönelik genel tutumlarla birlikte değerlendirilmelidir [2,5,6].

Yapay zekâya güveni açıklamada sosyo-demografik değişkenler önemli olmakla birlikte tek başına yeterli değildir. Yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi ve dijital erişim gibi değişkenler bireylerin teknolojiyle temas biçimini etkileyebilir. Ancak güvenin oluşumunda bireylerin yapay zekâyı nasıl anlamlandırıdığı, ne sıklıkla kullandığı, bu teknolojinin toplumsal sonuçlarını nasıl değerlendirdiği ve bilim-teknolojiye yönelik genel tutumları da belirleyicidir. Nitekim teknoloji kabulü literatürü, kullanım niyeti ve benimseme süreçlerinde algılanan fayda, kullanım kolaylığı, sosyal etki ve güven gibi değişkenlerin önemli olduğunu göstermektedir [7,8]. Daha yeni çalışmalar ise yapay zekâ bağlamında güven, yapay zekâ okuryazarlığı ve kullanım deneyiminin birlikte ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır [5,6,9].

Bu çalışmada yapay zekâya güvenin açıklanmasında yorumlanabilir makine öğrenmesi ve istatistiksel modelleme yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Sosyal bilimlerde makine öğrenmesi modelleri yalnızca tahmin başarısı üretmek için değil, karmaşık değişken örüntülerini görünür kılmak için de kullanılabilir. Bununla birlikte, bu modellerin “kara kutu” biçiminde kullanılması özellikle sosyal bilim araştırmalarında yorumlanabilirlik sorununa yol açabilir. Bu nedenle karar ağacı, Random Forest değişken önem düzeyleri ve multinominal lojistik regresyon birlikte kullanılmış; hem sınıflandırma başarısı hem de değişkenlerin açıklayıcı katkısı değerlendirilmiştir. Yorumlanabilir ve açıklanabilir modelleme literatürü, model çıktılarının anlaşılır olmasının şeffaflık, güven ve hesap verebilirlik açısından önemli olduğunu vurgulamaktadır [10–13].

Bu çalışma, Türkiye’de bireylerin yapay zekâya güven düzeyini sosyo-demografik, dijital ve tutumsal değişkenler üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada şu sorulara yanıt aranmıştır: Yapay zekâya güven düzeyi hangi değişkenlerle ilişkilidir? Yapay zekâya güveni sınıflandırmada en önemli değişkenler hangileridir? Yorumlanabilir makine öğrenmesi

modelleri, yapay zekâya güvenin hangi karar yolları ve değişken örüntüleriyle ayrıştığını gösterebilir mi? Bu doğrultuda çalışma, yapay zekâya güvenin yalnızca demografik göstergelerle değil, yapay zekâya ilişkin toplumsal etki algısı, kullanım deneyimi, bilgi düzeyi ve bilim-teknolojiye yönelik genel tutumlarla birlikte ele alınması gerektiğini göstermeyi hedeflemektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Veri Seti, Çalışma Grubu ve Değişkenler

Bu çalışmada, Türkiye’de bireylerin yapay zekâya güven düzeyini açıklayan sosyo-demografik, dijital ve tutumsal belirleyicileri incelemek amacıyla Türkiye Genel Sosyal Saha Araştırması 2024 (TGSS 2024) veri seti kullanılmıştır [14]. TGSS 2024, Türkiye’de sosyal, kültürel, ekonomik, siyasal ve gündelik yaşama ilişkin çok sayıda göstergesi içeren geniş kapsamlı bir anket veri setidir. Çalışmada kullanılan ilk veri dosyası 2615 katılımcı ve 664 değişkenden oluşmaktadır. Veri setinde yapay zekâ farkındalığı, yapay zekâ bilgi düzeyi, yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, yapay zekâ kullanım sıklığı, dijital platform kullanımları, bilim ve teknolojiye yönelik tutumlar, kurumsal güven göstergeleri ve temel sosyo-demografik değişkenler yer almaktadır.

Çalışmanın bağımlı değişkeni, katılımcıların yapay zekânın hayatlarını etkileyen konularda vereceği kararlara duydukları güven düzeyidir. Orijinal değişken beş kategorili bir yapıya sahiptir. Analizlerde sınıf dağılımını daha istikrarlı hale getirmek ve bulguların yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla bu değişken üç kategorili hedef değişkene dönüştürülmüştür. Buna göre 1–2 puan düşük güven, 3 puan orta güven, 4–5 puan ise yüksek güven olarak kodlanmıştır.

Bağımsız değişkenler sosyo-demografik, dijital ve tutumsal değişken blokları altında ele alınmıştır. Sosyo-demografik değişkenler yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi ve kentleşme durumunu kapsamaktadır. Dijital değişkenler yapay zekâ kullanım sıklığı, seçili dijital platform kullanım sıklıkları ve çevrimiçi davranış göstergelerinden oluşmaktadır. Tutumsal değişkenler ise yapay zekâ bilgi düzeyi, yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, yapay zekâ ve otomasyonun iş yaşamı üzerindeki etkisine ilişkin algı, bilim ve teknolojiye yönelik genel tutumlar ve bazı kurumsal güven göstergelerini içermektedir.

Veri setinde yapay zekâya güven sorusuna geçerli yanıt veren 1011 katılımcı analitik örnekleme dahil edilmiştir. Bununla birlikte karar ağacı, Random Forest ve multinominal lojistik regresyon gibi tam veri gerektiren modelleme aşamalarında eksik veri içeren gözlemler çıkarılmış ve ana modelleme örnekleme 673 katılımcıdan oluşmuştur. Bu örneklemede katılımcıların 362’si düşük güven, 227’si orta güven ve 84’ü yüksek güven grubunda yer almıştır.

2.2. Veri Ön İşleme ve Analiz Stratejisi

Veri ön işleme aşamasında öncelikle özel eksik değer kodları olan -99, -90 ve -88 eksik değer olarak yeniden tanımlanmıştır. Yapay zekâya güven sorusuna geçerli yanıt vermeyen gözlemler analiz dışı bırakılmıştır. İlk değişken havuzu; sosyo-demografik değişkenler, yapay

zekâya ilişkin değişkenler, dijital kullanım göstergeleri, bilim-teknoloji tutumları ve kurumsal güven değişkenlerinden oluşturulmuştur. Bununla birlikte bazı değişkenlerde rotasyon veya filtre yapısına bağlı yüksek eksik veri oranı bulunduğu için ana modelde eksik veri oranı daha düşük olan değişkenler tercih edilmiştir. Ayrıca boş kategori, çok düşük frekanslı kategori veya tek kategoriye düşme problemi gösteren değişkenler modelleme aşamasına dahil edilmemiştir.

Analiz süreci dört aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada yapay zekâya güven gruplarının temel dağılımı incelenmiş ve değişkenler bakımından betimsel karşılaştırmalar yapılmıştır. Kategorik değişkenlerde gruplar arasındaki ilişki ki-kare testi ile değerlendirilmiştir [15]. Ki-kare istatistiği Eş. (1)'de gösterilmiştir:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (1)$$

Burada O_{ij} gözlenen frekansı, E_{ij} ise beklenen frekansı ifade etmektedir. Kategorik değişkenlerde ilişkinin gücünü değerlendirmek amacıyla Cramer's V etki büyüklüğü kullanılmıştır [16]. Cramer's V Eş. (2)'de verilmiştir:

$$V^2 = \sqrt{\frac{\chi^2}{n(k-1)}} \quad (2)$$

Bu formülde n örneklem büyüklüğünü, k ise satır veya sütun sayısından küçük olanını göstermektedir. Sürekli veya sıralı nicel değişkenlerde güven grupları arasındaki farklılıklar Kruskal-Wallis testi ile incelenmiştir [17]. Kruskal-Wallis test istatistiği Eş. (3)'te sunulmuştur:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^g \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1) \quad (3)$$

Burada N toplam gözlem sayısını, g grup sayısını, R_i ilgili grubun sıra toplamını ve n_i ilgili grubun gözlem sayısını göstermektedir.

İkinci aşamada, yapay zekâya güven düzeyini sınıflandırmak amacıyla karar ağacı modeli kurulmuştur. Karar ağacı modeli, yorumlanabilir karar yolları sunması nedeniyle tercih edilmiştir. Bu yaklaşım, sınıflandırma problemlerinde değişkenlerin hangi eşik veya kategori değerleri üzerinden grupları ayırdığını açık biçimde göstermesi bakımından yararlıdır [18]. Modelde veri seti eğitim ve test alt örneklemlerine ayrılmış; gözlemlerin %70'i eğitim, %30'u test verisi olarak kullanılmıştır. Karar ağacı modeli sınıflandırma problemi olarak kurulmuş ve budanmış ağaç yapısı üzerinden yorumlanmıştır. Bu aşamadaki temel amaç yalnızca tahmin başarısı üretmek değil, yapay zekâya güven gruplarını ayıran temel karar yollarını görünür kılmaktır.

Üçüncü aşamada Random Forest modeli uygulanmıştır. Random Forest, çok sayıda karar ağacının birlikte kullanıldığı topluluk temelli bir sınıflandırma yaklaşımıdır [19]. Her bir ağaç farklı bootstrap örneklemeleri ve değişken alt kümeleri üzerinden oluşturulur. Nihai sınıf tahmini, ağaçların çoğunluk oyu ile belirlenir. Bu yapı Eş. (4)'te gösterilmiştir:

$$\hat{y} = \text{mod}\{h_1(x), h_2(x), \dots, h_B(x)\} \quad (4)$$

Burada $h_b(x)$, b . karar ağacının sınıf tahminini; B ise toplam ağaç sayısını ifade etmektedir. Bu çalışmada Random Forest modeli 500 ağaç ile kurulmuş ve her bölünmede dört

değişken denenmiştir. Modelde değişken önem düzeyleri “Ortalama Doğruluk Azalması” ölçütüyle değerlendirilmiştir. Bu ölçüt, ilgili değişkenin permüte edilmesi durumunda sınıflandırma doğruluğunda ortaya çıkan azalmayı göstermektedir.

Dördüncü aşamada, makine öğrenmesi modellerinden elde edilen bulguları istatistiksel olarak desteklemek amacıyla multinominal lojistik regresyon modeli kurulmuştur [20,21]. Bu modelde düşük güven grubu referans kategori olarak alınmış, orta güven ve yüksek güven grupları düşük güven grubuyla karşılaştırılmıştır. Multinominal lojistik regresyon modeli genel olarak Eş. (5)’teki gibi ifade edilebilir:

$$\log \left(\frac{P(Y=j)}{P(Y=0)} \right) = \beta_{0j} + \beta_{1j}X_1 + \beta_{2j}X_2 + \dots + \beta_{pj}X_p \quad (5)$$

Burada $Y = 0$ referans kategori olan düşük güven grubunu, $Y = j$ ise orta veya yüksek güven grubunu ifade etmektedir. Katsayılar olasılık oranı, yani odds ratio, $OR = e^\beta$ olarak raporlanmıştır.

Model performansları test verisi üzerinden değerlendirilmiştir. Genel doğruluk, Cohen’s kappa, duyarlılık, seçicilik, pozitif kestirim değeri, negatif kestirim değeri ve dengeli doğruluk değerleri raporlanmıştır. Çok sınıflı sınıflandırma yapısı nedeniyle sınıf bazlı performans ölçütleri her sınıf için “ilgili sınıf” ve “diğer sınıflar” ayrımı üzerinden hesaplanmıştır. Genel doğruluk, doğru sınıflandırılan gözlemlerin toplam gözlem sayısına oranı olarak Eş. (6)’daki gibi hesaplanmıştır [22]:

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (6)$$

Duyarlılık, ilgili sınıfa ait gözlemlerin ne kadarının doğru sınıflandırıldığını göstermek için Eş. (7)’deki gibi hesaplanmıştır:

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP+FN} \quad (7)$$

Seçicilik ise ilgili sınıfa ait olmayan gözlemlerin ne kadarının doğru ayırt edildiğini göstermektedir. Bu ölçüt Eş. (8)’de verilmiştir:

$$Specificity = \frac{TN}{TN+FP} \quad (8)$$

Sınıf dağılımında dengesizlik bulunduğu için genel doğruluk tek başına yeterli görülmemiş, dengeli doğruluk da raporlanmıştır. Dengeli doğruluk Eş. (9)’daki gibi hesaplanmıştır:

$$Balanced Accuracy = \frac{Sensitivity+Specificity}{2} \quad (9)$$

Tüm analizler R programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Veri ön işleme ve betimsel analizlerde dplyr ve tidyr; sınıflandırma ve model değerlendirme süreçlerinde rpart, randomForest, caret ve nnet; görselleştirmelerde ise ggplot2 ve DiagrammeR paketlerinden yararlanılmıştır [20–22].

3. BULGULAR

3.1. Analitik Örneklem ve Yapay Zekâya Güven Düzeyi

Yapay zekâya güven sorusuna geçerli yanıt veren 1011 katılımcı analitik örneklemde dahil edilmiştir. Bu örnekleme katılımcıların 565'i düşük güven, 337'si orta güven ve 109'u yüksek güven grubunda yer almıştır. Buna göre geçerli yanıt veren katılımcıların %55.9'u düşük, %33.3'ü orta ve %10.8'i yüksek güven düzeyine sahiptir. Bu dağılım, yüksek düzeyde yapay zekâ güveninin örnekleme de görece sınırlı olduğunu göstermektedir.

Tam veri gerektiren modelleme aşamalarında ise eksik veri içeren gözlemler çıkarılmış ve analizler 673 katılımcı üzerinden yürütülmüştür. Ana modelleme örnekleminde katılımcıların 362'si düşük güven, 227'si orta güven ve 84'ü yüksek güven grubunda yer almıştır. Bu dağılımın geçerli yanıt veren daha geniş analitik örnekleme büyük ölçüde benzerlik gösterdiği Çizelge 1'de verilmiştir. Bu nedenle modelleme örnekleminin yapay zekâya güven düzeyi bakımından genel dağılımı koruduğu söylenebilir.

Çizelge 1. Yapay Zekâya Güven Düzeyinin Dağılımı

Güven düzeyi	Geçerli yanıt örneklemini n=1011	%	Modelleme örneklemini* n=673	%
Düşük güven	565	55.9	362	53.8
Orta güven	337	33.3	227	33.7
Yüksek güven	109	10.8	84	12.5

*Modelleme örneklemini, tam veri gerektiren analizlerde kullanılan alt örneklemini ifade etmektedir.

3.2. Tek Değişkenli Karşılaştırmalar

Yapay zekâya güven grupları öncelikle sayısal değişkenler bakımından karşılaştırılmıştır. Kruskal-Wallis testi sonuçlarına göre yalnızca yaş değişkeni gruplar arasında anlamlı farklılık göstermiştir, $\chi^2(2)=6.989$, $p=0.030$. Bonferroni düzeltmeli ikili karşılaştırmalar, bu farkın düşük güven grubu ile orta güven grubu arasında ortaya çıktığını göstermiştir ($p=0.026$). Betimsel sonuçlara göre düşük güven grubunun yaş ortalaması orta güven grubuna göre daha yüksektir. Buna karşılık kişisel gelir, hane geliri, sosyal medya kullanım süresi ve genel sosyal güven göstergeleri bakımından güven grupları arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Bu sonuç, sayısal değişkenler içinde yaşın sınırlı bir ayrıştırıcı rol oynadığını; gelir ve genel sosyal güven göstergelerinin ise yapay zekâya güven düzeylerini belirgin biçimde ayırmadığını göstermektedir.

Kategorik değişkenlere ilişkin ki-kare testi ve Cramer's V sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Yapay zekâya güven düzeyinin özellikle yapay zekâya ilişkin algı, kullanım ve bilgi değişkenleriyle ilişkili olduğunu göstermiştir. En yüksek etki büyüklüğü yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı değişkeninde gözlenmiştir ($V=0.360$). Bunu yapay zekâ kullanım sıklığı ($V=0.281$), yapay zekâ ve otomasyonun iş yaratma/yok etme etkisine ilişkin algı ($V=0.241$), yapay zekâ bilgi düzeyi ($V=0.218$), bilim ve teknolojinin toplumsal etkisine ilişkin değerlendirme ($V=0.212$) ve bilim-teknolojinin yaşamı iyileştirdiğine yönelik inanç ($V=0.209$) izlemiştir. Bu bulgular, yapay zekâya güvenin yalnızca demografik özelliklerle değil, doğrudan yapay zekâya ve teknolojiye ilişkin algı, bilgi ve deneyim değişkenleriyle daha yakından ilişkili olduğunu düşündürmektedir.

Dijital platform kullanımı değişkenleri içinde LinkedIn kullanımı ($V=0.192$) ve X/Twitter kullanımı ($V=0.165$) görece daha yüksek etki büyüklüğü göstermiştir. TikTok kullanımı da istatistiksel olarak anlamlı bulunmakla birlikte etki büyüklüğü daha sınırlıdır ($V=0.134$). Buna karşılık evde internet erişimi ve kişisel internet erişimi gibi genel dijital erişim göstergeleri anlamlı bir farklılaşma yaratmamıştır. Bu ayrım önemlidir; çünkü bulgular, yapay zekâya güven açısından yalnızca dijital erişime sahip olmanın değil, dijital ortamlara hangi biçimlerde katılım sağlandığının daha açıklayıcı olabileceğine işaret etmektedir.

Çizelge 2. Yapay Zekâya Güven Düzeyiyle İlişkili Başlıca Değişkenler

Değişken	Test istatistiği (χ^2)	p	Cramer's V*
Yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı	174.443	<0.001	0.360
Yapay zekâ kullanım sıklığı	106.407	<0.001	0.281
Yapay zekâ ve otomasyonun iş etkisine ilişkin algı	77.868	<0.001	0.241
Yapay zekâ bilgi düzeyi	63.995	<0.001	0.218
Bilim ve teknolojinin toplumsal etkisine ilişkin değerlendirme	60.400	<0.001	0.212
Bilim-teknolojinin yaşamı iyileştirdiğine yönelik inanç	59.019	<0.001	0.209
LinkedIn kullanım sıklığı	49.526	<0.001	0.192
Eğitim düzeyi	43.364	<0.001	0.179
X/Twitter kullanım sıklığı	36.763	<0.001	0.165
Cinsiyet	12.256	0.002	0.135
TikTok kullanım sıklığı	24.214	0.019	0.134
Polise güven	21.061	0.007	0.125
Bankalara güven	18.316	0.019	0.117
Kentleşme durumu	10.868	0.028	0.090

*Çizelge, istatistiksel olarak anlamlı bulunan kategorik değişkenleri ve Cramer's V etki büyüklüklerini göstermektedir. Değişkenler Cramer's V değerine göre sıralanmıştır.

3.3. Karar ağacı modeli

Yapay zekâya güven düzeyini sınıflandırmada yorumlanabilir bir yapı elde etmek amacıyla karar ağacı modeli kurulmuştur. Modele yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi, kentleşme durumu, yapay zekâ bilgi düzeyi, yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, yapay zekâ kullanım sıklığı, bilim ve teknolojiye yönelik tutumlar, seçili dijital platform kullanım değişkenleri ve bazı kurumsal güven göstergelerinden oluşan 15 bağımsız değişken dahil edilmiştir. Veri seti eğitim ve test alt örneklemelerine ayrılmış; model eğitim verisinin %70'i ile kurulmuş, kalan %30'luk test verisi üzerinde değerlendirilmiştir.

Karar ağacı modelinin test verisi üzerindeki genel doğruluk değeri 0.617 olarak hesaplanmıştır. Cohen's kappa katsayısının 0.332 olması, modelin tesadüfi sınıflandırmanın üzerinde ancak sınırlı-orta düzeyde bir uyum sergilediğini göstermektedir. Modele ilişkin karışıklık matrisi Çizelge 3'te sunulmuştur. Çizelge 3 incelendiğinde modelin özellikle düşük güven grubunu daha başarılı biçimde sınıflandırdığı görülmektedir. Gerçek sınıfı düşük güven olan 108 katılımcının 78'i doğru sınıflandırılmıştır. Orta güven grubunda 68 katılımcının 38'i

doğru tahmin edilirken, yüksek güven grubunda 25 katılımcının yalnızca 8'i doğru sınıflandırılmıştır. Bu sonuç, karar ağacı modelinin yüksek güven grubunu ayırt etmede daha sınırlı kaldığını göstermektedir.

Çizelge 3. Karar Ağacı Modeline İlişkin Karışıklık Matrisi

Gerçek sınıf / Tahmin edilen sınıf*	Düşük güven	Orta güven	Yüksek güven
Düşük güven	78	28	2
Orta güven	23	38	7
Yüksek güven	6	11	8

*Satırlar gerçek sınıfları, sütunlar model tarafından tahmin edilen sınıfları göstermektedir.

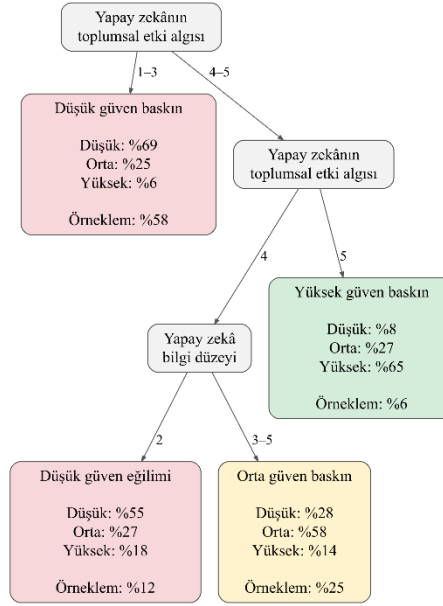
Çizelge 3’de verilen karışıklık matrisinden elde edilen sınıf bazlı performans değerleri Çizelge 4’te verilmiştir. Düşük güven sınıfı için duyarlılık 0.722, pozitif kestirim değeri 0.729 ve dengeli doğruluk 0.705’tir. Bu değerler, modelin düşük güven grubunu görece başarılı biçimde ayırt ettiğini göstermektedir. Orta güven sınıfında duyarlılık 0.559 ve dengeli doğruluk 0.633 olarak hesaplanmıştır. Yüksek güven sınıfında ise duyarlılık 0.320 düzeyindedir. Buna karşılık yüksek güven sınıfı için seçicilik değerinin 0.949 olması, modelin yüksek güven grubunda olmayan katılımcıları büyük ölçüde doğru ayırabildiğini; ancak gerçekten yüksek güven grubunda yer alan katılımcıları yakalamakta zorlandığını göstermektedir. Bu durum, yüksek güven grubunun örneklemede daha düşük oranda temsil edilmesi ve orta güven grubuyla bazı özellikler bakımından örtüşmesiyle ilişkili olabilir.

Çizelge 4. Karar Ağacı Modelinin Sınıf Bazlı Performans Değerleri

Sınıf	Duyarlılık	Seçicilik	Pozitif kestirim değeri	Negatif kestirim değeri	Dengeli doğruluk
Düşük güven	0.722	0.688	0.729	0.681	0.705
Orta güven	0.559	0.707	0.494	0.758	0.633
Yüksek güven	0.320	0.949	0.471	0.908	0.634

*Modelin genel doğruluk değeri 0.617, Cohen’s kappa katsayısı 0.332 olarak hesaplanmıştır.

Karar ağacı modelinin sadeleştirilmiş yapısı Görsel 1’de verilmiştir. Modeldeki ilk ayırımın yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı üzerinden gerçekleşmesi dikkat çekicidir. Yapay zekânın toplumsal etkisini daha düşük düzeyde olumlu değerlendiren katılımcılar ağırlıklı olarak düşük güven grubunda yer almıştır. Bu düğümde düşük güven oranı %69, orta güven oranı %25 ve yüksek güven oranı yalnızca %6’dır. Buna karşılık, yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı daha olumlu hale geldikçe orta ve yüksek güven sınıflarının olasılığı artmaktadır.



Görsel 1. Yapay Zekâya Güven Düzeyinin Sınıflandırılmasına İlişkin Sadeleştirilmiş Karar Ağacı

Görsel 1, budanmış karar ağacı modelinden hareketle yapay zekâya güven düzeyini ayıran temel karar yollarını göstermektedir. Görselde yer alan 1–3, 4–5, 4, 5, 2 ve 3–5 değerleri ilgili değişkenlerin kategori değerlerini ifade etmektedir. Yapay zekânın toplumsal etki algısı değişkeninde 1 daha olumsuz, 5 daha olumlu algıyı; yapay zekâ bilgi düzeyi değişkeninde ise 1 daha düşük, 5 daha yüksek bilgi düzeyini göstermektedir. Düğümlerde verilen yüzdelere, ilgili düğümdeki düşük, orta ve yüksek güven sınıflarının dağılımını; “örneklem” ifadesi ise terminal düğümün eğitim verisi içindeki yaklaşık oranını göstermektedir.

Görsel 1 incelendiğinde, yapay zekânın toplumsal etkisini en olumlu düzeyde değerlendiren katılımcılarda yüksek güven sınıfının baskın hale geldiği görülmektedir. Bu grupta yüksek güven oranı %65’e ulaşmaktadır. Buna karşılık, toplumsal etki algısı olumlu olmakla birlikte en üst düzeyde olmayan katılımcılar arasında yapay zekâ bilgi düzeyi ikinci önemli ayrım noktası olarak ortaya çıkmıştır. Yapay zekâ bilgi düzeyi daha sınırlı olan katılımcılarda düşük güven eğilimi devam ederken, bilgi düzeyi daha yüksek olan katılımcılarda orta güven baskın hale gelmektedir. Bu bulgu, yapay zekâya güvenin yalnızca genel bir teknoloji iyimserliğiyle değil, bireyin yapay zekâya ilişkin bilgi düzeyiyle birlikte şekillendiğini düşündürmektedir.

Genel olarak karar ağacı modeli, yüksek düzeyde kestirim başarısı üretmekten çok, yapay zekâya güveni ayıran temel karar yollarını görünür kılması bakımından değerlidir. Modelin ilk ayrımının yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı üzerinden gerçekleşmesi, tek değişkenli analizlerde elde edilen Cramer’s V bulgularıyla da tutarlıdır. Bu nedenle karar ağacı sonuçları, yapay zekâya güvenin özellikle toplumsal etki algısı, kullanım deneyimi ve bilgi düzeyiyle yakından ilişkili olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte, yüksek güven grubunun sınıflandırılmasındaki sınırlı başarı, daha esnek ve topluluk temelli sınıflandırma algoritmalarıyla model performansının karşılaştırılmasını gerekli kılmıştır. Bu doğrultuda sonraki aşamada Random Forest modeli uygulanmıştır.

3.4. Random Forest Modeli ve Değişken Önem Düzeyleri

Karar ağacı modelinin ardından, yapay zekâya güven düzeyini daha esnek bir sınıflandırma yaklaşımıyla incelemek amacıyla Random Forest modeli uygulanmıştır. Model 500 karar ağacından oluşturulmuş ve her bölünmede dört değişken denenmiştir. Test verisi üzerindeki genel doğruluk değeri 0.662, Cohen's kappa katsayısı ise 0.388 olarak hesaplanmıştır. Modelin out-of-bag hata oranı 0.398'dir. Bu değerler, Random Forest modelinin tek karar ağacına kıyasla daha yüksek bir genel sınıflandırma performansı ürettiğini göstermektedir. Modele ilişkin genel performans değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Random Forest Modeline İlişkin Genel Performans Değerleri

Ölçüt	Değer
Ağaç sayısı	500
Her bölünmede denenilen değişken sayısı	4
OOB hata oranı*	0.398
Doğruluk	0.662
Cohen's kappa	0.388
No information rate	0.537

*OOB = out-of-bag hata oranı. Doğruluk ve Cohen's kappa değerleri test verisi üzerinden hesaplanmıştır.

Random Forest modelinin sınıf bazlı performans değerleri Çizelge 6'da sunulmuştur. Model en başarılı sınıflandırmayı düşük güven grubunda gerçekleştirmiştir. Düşük güven sınıfı için duyarlılık 0.815, pozitif kestirim değeri 0.721 ve dengeli doğruluk 0.725 olarak hesaplanmıştır. Orta güven sınıfında duyarlılık 0.559 ve dengeli doğruluk 0.667'dir. Yüksek güven sınıfında ise duyarlılık 0.280 düzeyinde kalmıştır. Buna karşılık yüksek güven sınıfı için seçicilik değerinin 0.977 olması, modelin yüksek güven grubunda olmayan katılımcıları büyük ölçüde doğru ayırt edebildiğini; ancak gerçekten yüksek güven grubunda yer alan katılımcıları yakalamakta zorlandığını göstermektedir. Bu durum, yüksek güven grubunun örnekleme daha düşük oranda temsil edilmesiyle ilişkili olabilir.

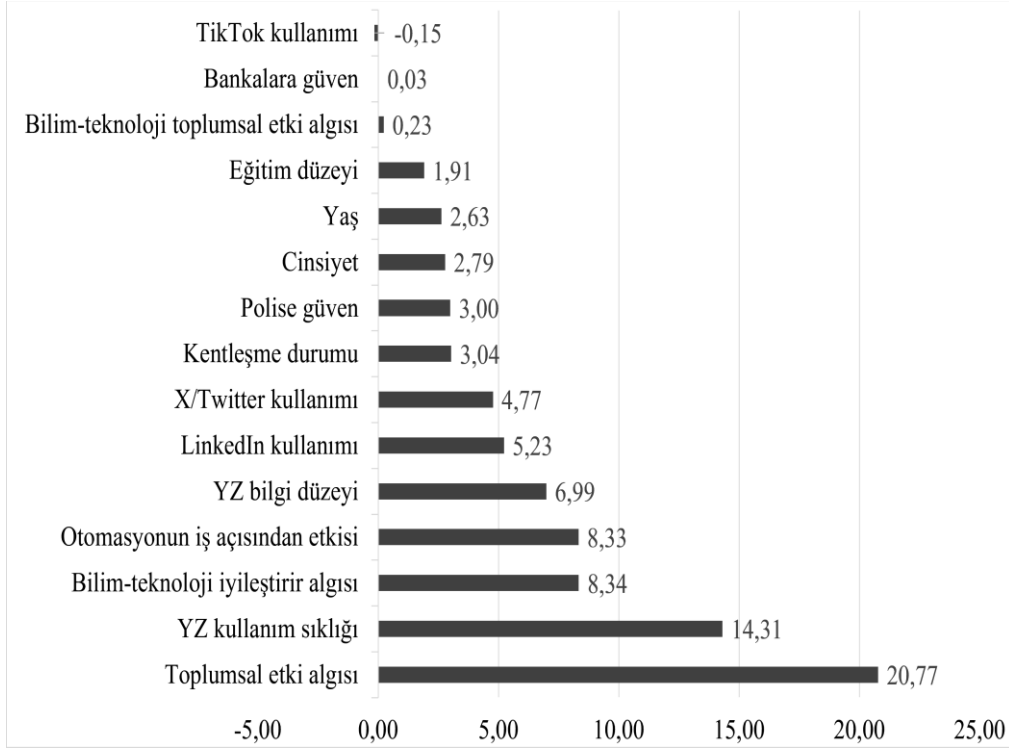
Çizelge 6. Random Forest Modelinin Sınıf Bazlı Performans Değerleri

Sınıf	Duyarlılık	Seçicilik	Pozitif kestirim değeri	Negatif kestirim değeri	Dengeli doğruluk
Düşük güven	0.815	0.634	0.721	0.747	0.725
Orta güven	0.559	0.774	0.559	0.774	0.667
Yüksek güven	0.280	0.977	0.636	0.905	0.629

*Performans değerleri test verisi üzerinden hesaplanmıştır.

Random Forest modelinde değişken önem düzeyleri Ortalama Doğruluk Azalması ölçütüne göre değerlendirilmiştir. Bu ölçüt, ilgili değişkenin permüte edilmesi durumunda modelin sınıflandırma doğruluğunda ne ölçüde azalma olduğunu göstermektedir. Bu nedenle

daha yüksek değerler, ilgili değişkenin modelin sınıflandırma performansına daha fazla katkı sağladığını ifade etmektedir. Görsel 2’de değişken önem düzeyleri verilmiştir.



Görsel 2. Random Forest Modelinde Değişken Önem Düzeyleri

Görsel 2 incelendiğinde, sınıflandırma başarısına en fazla katkı sağlayan değişkenin yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı olduğu görülmektedir. Bunu yapay zekâ kullanım sıklığı, bilim ve teknolojinin yaşamı iyileştirdiğine yönelik inanç, yapay zekâ ve otomasyonun iş yaşamı üzerindeki etkisine ilişkin algı ve yapay zekâ bilgi düzeyi izlemektedir. Bu sıralama, karar ağacı modelinden ve tek değişkenli analizlerden elde edilen bulgularla tutarlıdır. Özellikle yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algının hem karar ağacında ilk ayırım noktası olması hem de Random Forest modelinde en yüksek değişken önem değerini alması, bu değişkenin yapay zekâyâ güvenin sınıflandırılmasındaki merkezi rolünü desteklemektedir.

Buna karşılık cinsiyet, kentleşme durumu ve bazı kurumsal güven değişkenleri modelde yer almakla birlikte, yapay zekâyâ ilişkin algı ve kullanım değişkenlerine kıyasla daha sınırlı katkı sağlamıştır. Bu bulgu, yapay zekâyâ güveni açıklamada klasik sosyo-demografik göstergelerin tek başına yeterli olmadığını; bireylerin yapay zekâ hakkındaki bilgi düzeyi, kullanım deneyimi ve teknolojinin toplumsal etkisine ilişkin değerlendirmelerinin daha merkezi bir rol oynadığını göstermektedir. Bununla birlikte değişken önem değerleri nedensel bir etki olarak yorumlanmamalı; modelin sınıflandırma sürecinde hangi değişkenlerden daha fazla yararlandığını gösteren bir gösterge olarak değerlendirilmelidir.

Genel olarak Random Forest modeli, karar ağacı modeline kıyasla daha yüksek doğruluk ve kappa değeri üretmiştir. Ancak her iki modelde de yüksek güven sınıfının sınıflandırılmasında sınırlılıklar görülmüştür. Bu sonuç, yapay zekâyâ yüksek güven duyan katılımcıların örnekleme az sayıda bulunması ve bu grubun orta güven grubuyla bazı özellikler

bakımından örtüşmesiyle açıklanabilir. Buna rağmen Random Forest modelinde elde edilen değişken önem sıralaması, çalışmanın temel bulgusunu güçlendirmektedir: yapay zekâya güven, demografik özelliklerden çok yapay zekâya ilişkin toplumsal etki algısı, kullanım deneyimi, bilgi düzeyi ve bilim-teknolojiye yönelik genel tutumlarla ilişkili görünmektedir.

3.5. Multinomial Lojistik Regresyon Modeli

Makine öğrenmesi modellerinden elde edilen bulguları istatistiksel bir modelle desteklemek amacıyla multinomial lojistik regresyon analizi uygulanmıştır. Bağımlı değişken yapay zekâya güven düzeyi olarak tanımlanmış; düşük güven grubu referans kategori alınmıştır. Böylece modelde orta güven ve yüksek güven grupları düşük güven grubuyla karşılaştırılmıştır. Modele yaş, cinsiyet, yeniden kodlanmış eğitim düzeyi, yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, yapay zekâ kullanım sıklığı, yapay zekâ ve otomasyonun iş yaşamına etkisine ilişkin algı, yapay zekâ bilgi düzeyi, bilim ve teknolojinin yaşamı iyileştirdiğine yönelik inanç ve bilim-teknolojinin toplumsal etkisine ilişkin değerlendirme değişkenleri dahil edilmiştir.

İlk modelde eğitim değişkeninin çok kategorili yapısı nedeniyle bazı kategorilerde düşük frekans problemi görülmüştür. Bu nedenle eğitim düzeyi düşük, orta ve yüksek eğitim olmak üzere üç kategoriye dönüştürülmüştür. Yeniden kodlama sonrasında model 673 katılımcı üzerinden kurulmuştur. Bu örnekleme düşük eğitim grubunda 127, orta eğitim grubunda 350 ve yüksek eğitim grubunda 196 katılımcı yer almıştır.

Regresyon modelinde düşük güven grubu referans kategori olduğu için bulgular, orta güven ve yüksek güven gruplarında yer alma olasılığının düşük güven grubuna göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Anlamlı ve sınırdan anlamlı yordayıcılara ilişkin olasılık oranları Çizelge 7’de sunulmuştur.

Çizelge 7. Multinomial Lojistik Regresyon Modelinde Anlamlı ve Sınırdan Anlamlı Yordayıcılar

Karşılaştırma	Değişken	OR	%95 GA Alt	%95 GA Üst	P
Orta güven / Düşük güven	Yapay zekânın toplumsal etki algısı	1.980	1.510	2.600	<.001
Orta güven / Düşük güven	Yapay zekâ ve otomasyon iş algısı	1.470	1.170	1.850	.001
Orta güven / Düşük güven	Yapay zekâ bilgi düzeyi	1.400	0.998	1.970	.051
Orta güven / Düşük güven	Bilim-teknoloji yaşamı iyileştirir algısı	1.300	0.979	1.730	.070
Orta güven / Düşük güven	Yüksek eğitim	1.850	0.944	3.640	.073
Yüksek güven / Düşük güven	Cinsiyet	0.435	0.206	0.915	.028
Yüksek güven / Düşük güven	Yapay zekânın toplumsal etki algısı	2.760	1.760	4.330	<.001

Karşılaştırma	Değişken	OR	%95 GA Alt	%95 GA Üst	P
Yüksek güven / Düşük güven	Yapay zekâ kullanım sıklığı	1.280	1.110	1.480	.001
Yüksek güven / Düşük güven	Yapay zekâ ve otomasyon iş algısı	1.860	1.330	2.620	<.001
Yüksek güven / Düşük güven	Bilim-teknoloji yaşamı iyileştirir algısı	1.760	1.030	2.990	.037

*Referans kategori düşük güvendir. OR = odds ratio; GA = güven aralığı. Eğitim değişkeninde düşük eğitim referans kategori olarak alınmıştır. Cinsiyet değişkeninde erkek referans kategoridir. Sınırdan anlamlı değişkenler yorumlamada dikkatli ele alınmıştır.

Çizelge 7 incelendiğinde, orta güven grubunu düşük güven grubundan ayırmada iki değişkenin öne çıktığı görülmektedir. Yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algıdaki bir birimlik artış, orta güven grubunda yer alma olasılığını düşük güven grubuna göre yaklaşık 1.98 kat artırmıştır. Benzer biçimde, yapay zekâ ve otomasyonun iş yaşamına etkisine ilişkin daha olumlu algı, orta güven grubunda yer alma olasılığını yaklaşık 1.47 kat artırmıştır. Yapay zekâ bilgi düzeyi, bilim-teknoloji yaşamı iyileştirir algısı ve yüksek eğitim değişkenleri ise orta güven karşılaştırmasında sınırdan anlamlılık düzeyinde kalmıştır. Bu nedenle bu değişkenler ana belirleyiciler olarak değil, destekleyici eğilimler olarak değerlendirilmiştir.

Yüksek güven grubunu düşük güven grubundan ayıran değişkenler daha belirgin bir örüntü göstermektedir. Yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algıdaki bir birimlik artış, yüksek güven grubunda yer alma olasılığını 2.76 kat artırmıştır. Yapay zekâ kullanım sıklığı da yüksek güven için anlamlı bir yordayıcıdır; kullanım sıklığındaki artış, yüksek güven grubunda yer alma olasılığını 1.28 kat artırmıştır. Ayrıca yapay zekâ ve otomasyonun iş yaşamına etkisine ilişkin daha olumlu algı yüksek güven olasılığını 1.86 kat, bilim ve teknolojinin yaşamı iyileştirdiğine yönelik inanç ise 1.76 kat artırmıştır. Bu sonuçlar, yüksek güven grubunun özellikle yapay zekâyâ ilişkin olumlu toplumsal etki algısı, kullanım deneyimi ve genel bilim-teknoloji iyimserliğiyle ayrıştığını göstermektedir.

Cinsiyet değişkeni yalnızca yüksek güven / düşük güven karşılaştırmasında anlamlı bulunmuştur. Buna göre cinsiyet değişkeninde kadınların yüksek güven grubunda yer alma olasılığı erkeklere göre daha düşüktür.

Multinomial lojistik regresyon modelinin test verisi üzerindeki genel doğruluk değeri 0.622, Cohen's kappa katsayısı ise 0.306 olarak hesaplanmıştır. Sınıf bazlı performans değerleri Çizelge 8'de verilmiştir. Model düşük güven grubunu görece daha başarılı biçimde ayırt etmiştir. Düşük güven sınıfında duyarlılık 0.796, dengeli doğruluk 0.678'dir. Orta güven sınıfında duyarlılık 0.500, yüksek güven sınıfında ise 0.200 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, multinomial lojistik regresyon modelinin istatistiksel yorumlama açısından yararlı olduğunu; ancak özellikle yüksek güven grubunu sınıflandırmada sınırlı kaldığını göstermektedir.

Çizelge 8. Multinomial lojistik regresyon modelinin sınıf bazlı performans değerleri

Sınıf	Duyarlılık	Seçicilik	Pozitif kestirim değeri	Negatif kestirim değeri	Dengeli doğruluk
Düşük güven	0.796	0.559	0.677	0.703	0.678
Orta güven	0.500	0.759	0.515	0.748	0.630
Yüksek güven	0.200	0.983	0.625	0.896	0.591

*Modelin genel doğruluk değeri 0.622, Cohen's kappa katsayısı 0.306 olarak hesaplanmıştır.

Genel olarak multinominal lojistik regresyon sonuçları, karar ağacı ve Random Forest bulgularıyla uyumlu bir yapı sunmaktadır. Yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, hem orta güven hem de yüksek güven karşılaştırmalarında anlamlı bir yordayıcıdır. Yapay zekâ kullanım sıklığı ise özellikle yüksek güven grubunu düşük güven grubundan ayırmaktadır. Bu yönüyle regresyon modeli, makine öğrenmesi modellerinden elde edilen temel bulguyu istatistiksel olarak desteklemektedir: yapay zekâyâ güven, demografik özelliklerden çok yapay zekâyâ ilişkin algı, kullanım deneyimi ve bilim-teknolojiye yönelik tutumlarla ilişkilidir.

3.6. Modellerin karşılaştırılması

Karar ağacı, Random Forest ve multinominal lojistik regresyon modellerinin sınıflandırma performansları birlikte değerlendirildiğinde, genel doğruluk ve Cohen's kappa değerleri bakımından en yüksek değerlerin Random Forest modelinde elde edildiği Çizelge 9'da görülmektedir. Random Forest modelinde doğruluk 0.662 ve kappa 0.388 iken, karar ağacı modelinde bu değerler sırasıyla 0.617 ve 0.332, multinominal lojistik regresyon modelinde ise 0.622 ve 0.306 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, Random Forest modelinin genel performans açısından diğer iki modele göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Bununla birlikte, modeller arasındaki farklar çok büyük değildir; bu nedenle sonuçlar yalnızca genel doğruluk üzerinden değil, sınıf bazlı performans değerleriyle birlikte değerlendirilmiştir.

Çizelge 9. Sınıflandırma Modellerinin Karşılaştırılması

Model	Doğruluk	Kappa	Düşük güven duyarlılık	Orta güven duyarlılık	Yüksek güven duyarlılık	Düşük güven dengeli doğruluk	Orta güven dengeli doğruluk	Yüksek güven dengeli doğruluk
Karar ağacı	0.617	0.332	0.722	0.559	0.320	0.705	0.633	0.634
Random Forest	0.662	0.388	0.815	0.559	0.280	0.725	0.667	0.629
Multinominal lojistik regresyon	0.622	0.306	0.796	0.500	0.200	0.678	0.630	0.591

Performans değerleri test verisi üzerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 9 incelendiğinde, Random Forest modelinin özellikle düşük güven sınıfını ayırt etmede daha başarılı olduğu görülmektedir. Düşük güven sınıfında duyarlılık Random Forest modelinde 0.815 olup, bu değer karar ağacı ve multinominal lojistik regresyon modellerinden yüksektir. Orta güven sınıfında karar ağacı ve Random Forest modelleri aynı duyarlılık değerine sahipken, dengeli doğruluk bakımından Random Forest modeli daha iyi sonuç

vermiştir. Buna karşılık yüksek güven sınıfında en yüksek duyarlılık karar ağacı modelinde elde edilmiştir. Ancak bu sınıfta tüm modellerin duyarlılık değerleri düşük kalmıştır.

Bu bulgu, yapay zekâya düşük güven duyan katılımcıların daha belirgin bir sınıflandırma örüntüsü sergilediğini; yüksek güven grubunun ise daha heterojen ve ayırt edilmesi daha güç bir yapı gösterdiğini düşündürmektedir. Yüksek güven sınıfındaki düşük duyarlılık değerleri, bu grubun örneklemde görece küçük olması ve orta güven grubuyla bazı özellikler bakımından örtüşmesiyle ilişkili olabilir. Bu nedenle çalışmada model performansı yalnızca genel doğruluk değerleriyle değil, sınıf bazlı duyarlılık ve dengeli doğruluk değerleriyle birlikte değerlendirilmiştir.

Üç model birlikte ele alındığında, her bir modelin çalışmaya farklı bir katkı sağladığı görülmektedir. Karar ağacı modeli, yapay zekâya güveni ayıran karar yollarını yorumlanabilir biçimde ortaya koymuştur. Random Forest modeli, daha yüksek genel performans üretmiş ve değişken önem sıralamasını güçlendirmiştir. Multinomial lojistik regresyon modeli ise makine öğrenmesi bulgularını istatistiksel olarak desteklemiş; özellikle yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, kullanım sıklığı, yapay zekâ ve otomasyonun iş yaşamına etkisine ilişkin algı ve bilim-teknolojiye yönelik olumlu tutumların düşük güvene kıyasla orta veya yüksek güven olasılıklarını artırdığını göstermiştir.

Genel olarak model karşılaştırması, yapay zekâya güvenin sınıflandırılmasında en merkezi değişkenlerin demografik özelliklerden çok yapay zekâya ilişkin algı, kullanım deneyimi, bilgi düzeyi ve bilim-teknolojiye yönelik genel tutumlar olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle üç model birbirini tamamlayan sonuçlar üretmiş; çalışmanın temel bulgusunu farklı analitik yollarla desteklemiştir.

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Türkiye’de yapay zekâya güven düzeyinin sosyo-demografik, dijital ve tutumsal değişkenlerle nasıl ilişkili olduğunu yorumlanabilir makine öğrenmesi ve istatistiksel modelleme yaklaşımlarıyla incelemiştir. Bulgular genel olarak, yapay zekâya güvenin yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi veya kentleşme gibi demografik özelliklerden çok; yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, yapay zekâ kullanım sıklığı, yapay zekâ bilgi düzeyi ve bilim-teknolojiye yönelik genel tutumlarla ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu sonuç, yapay zekâya güvenin yalnızca teknik bir kabul meselesi olmadığını; bireylerin yapay zekâyı toplum için faydalı, riskli, anlaşılır veya kullanılabilir görme biçimleriyle yakından bağlantılı olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgu, yapay zekâya güvenin teknik performansın yanı sıra etik, sosyal, kurumsal ve deneyimsel boyutlarla birlikte ele alınması gerektiğini vurgulayan güncel literatürle de uyumludur [1,2,4].

Çalışmanın en belirgin sonucu, yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algının tüm analizlerde merkezi bir değişken olarak öne çıkmasıdır. Bu değişken tek değişkenli analizlerde en yüksek etki büyüklüğüne sahip olmuş, karar ağacı modelinde ilk ayırım bu değişken üzerinden gerçekleşmiş, Random Forest modelinde en yüksek değişken önem değerini almış ve multinomial lojistik regresyon modelinde hem orta güven hem de yüksek güven grubunda yer

alma olasılığını anlamlı biçimde artırmıştır. Bu tutarlı bulgu, bireylerin yapay zekâya güven düzeylerinin öncelikle yapay zekânın toplum üzerindeki etkisini nasıl değerlendirdikleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle, birey yapay zekâyı toplumsal açıdan faydalı ve olumlu bir gelişme olarak gördükçe bu teknolojiye duyduğu güven de artmaktadır. Bu durum, güvenilir yapay zekâ tartışmalarının yalnızca algoritmik doğruluk veya teknik güvenlik üzerinden değil, toplumsal fayda, risk algısı, şeffaflık ve sorumlu yönetim bağlamında yürütülmesi gerektiğini göstermektedir [4,10,11].

Yapay zekâ kullanım sıklığı ve yapay zekâ bilgi düzeyi de güvenin açıklanmasında önemli değişkenler olarak belirlenmiştir. Özellikle yüksek güven grubunda yer alma olasılığının yapay zekâ kullanım sıklığı arttıkça yükselmesi, doğrudan kullanım deneyiminin güvenle ilişkili olabileceğini düşündürmektedir. Ancak bu ilişki nedensel biçimde yorumlanmamalıdır. Yapay zekâya daha fazla güvenen bireyler bu teknolojileri daha sık kullanıyor olabilir; aynı zamanda daha sık kullanım da aşinalığı artırarak güveni güçlendirebilir. Kesitsel veri yapısı bu iki yönlü ilişkiyi ayırmaya izin vermemektedir. Buna rağmen sonuçlar, yapay zekâ okuryazarlığı, kullanım deneyimi ve güven arasındaki ilişkinin birlikte ele alınması gerektiğine işaret etmektedir [5,6].

Bilim ve teknolojiye yönelik genel tutumların da yapay zekâya güvenle ilişkili bulunması dikkat çekicidir. Bilim ve teknolojinin yaşamı iyileştirdiğine inanan katılımcıların yüksek güven grubunda yer alma olasılığı daha yüksektir. Bu sonuç, yapay zekâya güvenin yalnızca belirli bir teknolojiye yönelik dar bir tutum olmadığını; daha geniş bir bilimsel ilerleme, teknoloji kabulü ve toplumsal fayda algısı içinde şekillendiğini göstermektedir. Bu bağlamda çalışma, teknoloji kabulü literatüründeki algılanan fayda, kullanım deneyimi ve benimseme ilişkisini yapay zekâya güven bağlamında desteklemektedir [7,8].

Sosyo-demografik değişkenlerin rolü ise daha sınırlı kalmıştır. Yaş, eğitim, cinsiyet ve kentleşme durumu bazı analizlerde anlamlı ya da katkı sağlayıcı görünse de bu değişkenlerin etkisi yapay zekâya ilişkin algı, bilgi ve kullanım değişkenlerinin gerisinde kalmıştır. Bu bulgu önemlidir; çünkü yapay zekâya güveni yalnızca “kimlerin teknolojiye daha yakın olduğu” sorusuyla açıklamak yetersizdir. Bulgular, bireylerin yapay zekâyı nasıl anlamlandığı, hangi düzeyde deneyimlediği ve toplumsal sonuçlarını nasıl değerlendirdiği sorularının daha açıklayıcı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla yapay zekâya yönelik toplumsal güveni artırmak için yalnızca dijital erişimi genişletmek yeterli değildir; AI okuryazarlığını güçlendiren, yapay zekânın olanaklarını ve risklerini dengeli biçimde açıklayan, şeffaflık ve sorumlu kullanım ilkelerini öne çıkaran uygulamalara ihtiyaç vardır.

Modelleme sonuçları da birbirini tamamlayan bir yapı sunmaktadır. Karar ağacı modeli yapay zekâya güveni ayıran temel karar yollarını görünür kılmış, Random Forest modeli daha yüksek genel sınıflandırma başarısı ve daha kararlı değişken önem sıralaması sağlamış, multinominal lojistik regresyon modeli ise bu bulguları istatistiksel olarak desteklemiştir. Üç modelin ortak sonucu, yapay zekâya güvenin sınıflandırılmasında en merkezi değişkenlerin yapay zekânın toplumsal etkisine ilişkin algı, kullanım sıklığı, bilgi düzeyi ve bilim-teknolojiye yönelik tutumlar olduğunu göstermektedir. Bu yönüyle çalışmada kullanılan modelleme yaklaşımı yalnızca tahmin başarısı üretmekle kalmamış, aynı zamanda değişkenlerin güven düzeyleriyle

nasıl ilişkilendiğini daha görünür hale getirmiştir. Bu yaklaşım, sosyal bilimlerde yorumlanabilir modelleme kullanımının önemini vurgulayan açıklanabilir yapay zekâ literatürüyle de uyumludur [10–13].

Bununla birlikte, modellerin yüksek güven sınıfını sınıflandırmada sınırlı kalması dikkatle değerlendirilmelidir. Yüksek güven grubunun örneklemde görece düşük oranda temsil edilmesi, bu sınıfa ilişkin duyarlılık değerlerinin düşük kalmasına yol açmış olabilir. Ayrıca yüksek güven grubunun orta güven grubuyla bazı özellikler bakımından örtüşmesi, modellerin bu grubu net biçimde ayırmasını güçleştirmiştir. Bu bulgu, yapay zekâyâ düşük güvenin daha belirgin ve ayırt edilebilir bir örüntüye sahip olduğunu; yüksek güvenin ise daha heterojen bir yapı gösterebileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmalarda yüksek güven grubunu daha ayrıntılı inceleyen, daha dengeli örneklemelerle yürütülen ve mümkünse boylamsal veri kullanan araştırmalara ihtiyaç vardır.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak, veri kesitsel nitelikte olduğu için değişkenler arasında nedensel çıkarım yapılamaz. İkinci olarak, yapay zekâyâ güven, bilgi düzeyi ve kullanım sıklığı öz-bildirim yoluyla ölçülmüştür; bu nedenle katılımcıların algılanan bilgi ve kullanım düzeyleri gerçek beceri veya kullanım davranışlarıyla tam olarak örtüşmeyebilir. Üçüncü olarak, bazı değişkenlerde rotasyon veya filtre yapısına bağlı eksik veri oranları nedeniyle ana modeller daha sınırlı bir değişken setiyle kurulmuştur. Dördüncü olarak, yüksek güven grubunun görece küçük olması sınıflandırma modellerinin bu sınıfı ayırt etme başarısını sınırlamıştır. Bu sınırlılıklara rağmen çalışma, Türkiye örnekleminde yapay zekâyâ güvenin hangi sosyo-dijital ve tutumsal değişkenlerle ilişkili olduğunu yorumlanabilir modelleme yaklaşımlarıyla ortaya koymasından katkı sunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, yapay zekâyâ güvenin demografik bir farklılaşma meselesinden çok, bireylerin yapay zekâyâ ilişkin algı, deneyim ve bilgi düzeyleriyle ilişkili olduğunu göstermektedir. Yapay zekânın toplumda daha güvenilir ve kabul edilebilir biçimde yaygınlaşabilmesi için teknik altyapının yanında toplumsal farkındalık, AI okuryazarlığı, kullanım deneyimi, şeffaflık ve güvenilir kullanım pratikleri de güçlendirilmelidir. Bu nedenle politika yapıcılar, eğitim kurumları ve teknoloji geliştiriciler, yapay zekâyâ güveni artırmaya yönelik çalışmalarda yalnızca erişim ve kullanım oranlarına değil, bireylerin yapay zekâyı nasıl anladığına ve toplumsal etkilerini nasıl değerlendirdiğine de odaklanmalıdır.

KAYNAKÇA

1. Afroogh, S., Akbari, A., Malone, E., Kargar, M., & Alambeigi, H. (2024). Trust in AI: Progress, challenges, and future directions. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11, 1568. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04044-8>
2. Gillespie, N., Lockey, S., Ward, T., Macdade, A., & Hassed, G. (2025). Trust, attitudes and use of artificial intelligence: A global study 2025. The University of Melbourne and KPMG. <https://doi.org/10.26188/28822919>
3. Dwivedi, Y. K., Kshetri, N., Hughes, L., Slade, E. L., Jeyaraj, A., Kar, A. K., et al. (2023). “So what if ChatGPT wrote it?” Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and

- policy. *International Journal of Information Management*, 71, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>
4. OECD. (2024). OECD AI Principles. OECD.AI Policy Observatory. <https://oecd.ai/en/ai-principles>
5. Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–16). ACM. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376727>
6. Huang, K. T. (2024). The influence of AI literacy on users' trust in AI in practical scenarios: A digital divide pilot study. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 61(1), 125–132. <https://doi.org/10.1002/pra2.1146>
7. Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. <https://doi.org/10.2307/249008>
8. Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <https://doi.org/10.2307/30036540>
9. Nazaretsky, T., Mejia-Domenzain, P., Swamy, V., Frej, J., & Käser, T. (2025). The critical role of trust in adopting AI-powered educational technology for learning: An instrument for measuring student perceptions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8, 100368. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100368>
10. Barredo Arrieta, A., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., García, S., Gil-López, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, 58, 82–115. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012>
11. Ali, S., Abuhmed, T., El-Sappagh, S., Muhammad, K., Alonso-Moral, J. M., Confalonieri, R., Guidotti, R., Del Ser, J., Díaz-Rodríguez, N., & Herrera, F. (2023). Explainable artificial intelligence (XAI): What we know and what is left to attain trustworthy artificial intelligence. *Information Fusion*, 99, 101805. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2023.101805>
12. Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature Machine Intelligence*, 1, 206–215. <https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x>
13. Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016). “Why should I trust you?” Explaining the predictions of any classifier. In *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 1135–1144). ACM. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939778>
14. Nişancı, Z., Kılavuz, M. T., Aysan, M. F., Owayurt, M. E. T., Yüce, B., Aydın, A. B., Kavdır, A. Y., Alboğa, M. H., Akbulut, Y., Atik, E., & Aydın, R. N. (2026). Türkiye Genel Sosyal Saha Araştırması (TGSS) 2024: Dataset. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.18721350>
15. Agresti, A. (2019). *An Introduction to Categorical Data Analysis* (3rd ed.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/0470114754>
16. Cramér, H. (1946). *Mathematical Methods of Statistics*. Princeton University Press.

17. Kruskal, W. H., & Wallis, W. A. (1952). Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47(260), 583–621. <https://doi.org/10.1080/01621459.1952.10483441>
18. Breiman, L., Friedman, J. H., Olshen, R. A., & Stone, C. J. (1984). *Classification and Regression Trees*. Wadsworth. <https://doi.org/10.1201/9781315139470>
19. Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
20. Ripley, B. D. (1996). *Pattern Recognition and Neural Networks*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812651>
21. Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern Applied Statistics with S* (4th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-21706-2>
22. Kuhn, M. (2008). Building predictive models in R using the caret package. *Journal of Statistical Software*, 28(5), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>

BEYİN TÜMÖRÜ ÇALIŞMALARINDA FEDERE ÖĞRENME YAKLAŞIMI

Araştırma Görevlisi, Duran DUMAN

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
dduman@atu.edu.tr - 0009-0000-4528-2492

Doçent Doktor, Yasin KAYA

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
ykaya@atu.edu.tr - 0000-0002-9074-0189

Profesör Doktor, Serdar YILDIRIM

Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi,
syildirim@atu.edu.tr - 0000-0003-3151-9916

ÖZET

Beyin tümörleri, dünya genelinde ciddi bir halk sağlığı sorunu olmayı sürdürmekte olup, erken ve doğru tanı doğrudan tedavi başarısını belirlemektedir. Manyetik rezonans görüntülerine dayalı derin öğrenme çalışmaları bu alanda kayda değer ilerlemeler sağlasa da, kurumlar arası veri paylaşımındaki gizlilik kısıtları model genellenebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Federe öğrenme (FÖ), ham verileri merkezi bir havuzda toplamadan dağıtık model eğitime imkan tanıyarak bu soruna çözüm sunmaktadır. Bu çalışmada, beyin tümörü sınıflandırmasında Federated Averaging (FedAvg) stratejisini benimseyen altı güncel derin öğrenme tabanlı çalışma; kullanılan model mimarileri, veri setleri ve performans sonuçları açısından karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda %94 ile %99 arasında doğruluk oranları raporlanmış, bazı durumlarda federe modellerin merkezi eğitimle elde edilen sonuçlara yakın, hatta onları aşan performans sergilediği görülmüştür. Ayrıca gerçek klinik ortamları yansıtan heterojen (Non-IID) veri dağılımlarında dahi FÖ'nün uygulanabilir bir potansiyel taşıdığı, ancak veri heterojenliği, iletişim maliyeti ve model şeffaflığı gibi konularda halen çözülmesi gereken zorlukların bulunduğu ortaya konmuştur. Bu derleme, alandaki mevcut eğilimleri özetleyerek gelecekteki araştırmalar için bir yol haritası sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : federe öğrenme, derin öğrenme, beyin tümörü, veri gizliliği

1. GİRİŞ

Beyin tümörleri, kafatası boşluğu içinde anormal hücrelerin kontrolsüz çoğalması sonucu gelişen, biyolojik açıdan birbirinden oldukça farklı özellikler sergileyen tümör tiplerini kapsayan ve yaşamı tehdit eden hastalıklar arasında gösterilmektedir¹. 2019 yılına ait veriler incelendiğinde dünya genelinde 347.992 yeni vaka saptandığı, aynı dönemde 246.253 hastanın

bu tanıyla hayatını yitirdiği görülmekte olup söz konusu rakamlar hastalığın global ölçekteki boyutunu açıkça yansıtmaktadır². Tümörün daha ilk evrede belirlenebilmesi, isabetli biçimde sınıflandırılabilmesi ve tedavi sürecine verilen yanıtın düzenli aralıklarla değerlendirilebilmesi bu nedenle klinik açıdan son derece belirleyici bir yer tutmaktadır. Bu süreçte, beyin tümörlerinin görüntüleme yoluyla incelenmesinde manyetik rezonans görüntüleme (MRG), klinisyenlerin sıklıkla tercih ettiği temel yöntemler arasındaki yerini korumaktadır³.

MRG görüntülerinin yorumlanması, tümöre özgü pek çok parametrenin dikkatle irdelenmesini gerektiren, uzmanlık isteyen ve çok katmanlı bir süreçtir. Tıbbi görüntüleme teknolojilerindeki ilerlemeyle paralel olarak üretilen görüntü verisinin hacmi de ciddi ölçüde artmıştır. Söz konusu artış, görüntülerin daha hızlı ve tutarlı biçimde işlenmesine yönelik bilgisayar destekli yöntemlere olan talebi de güçlendirmiştir. Öznitelik öğrenimini doğrudan veriden çıkarabilen derin öğrenme tabanlı yaklaşımlar, bu talebi karşılamak üzere MRG görüntülerinin analizinde giderek artan bir ağırlık kazanmaktadır⁴.

Derin öğrenme tabanlı modellerin güvenilir ve genellenebilir sonuçlar ortaya koyabilmesi, büyük ve çeşitli veri setlerine erişimi zorunlu kılmaktadır⁵. Ancak tıbbi görüntü verilerinin hasta mahremiyeti ve yasal veri koruma yükümlülükleri nedeniyle kurumlar arasında paylaşılması oldukça güçtür⁶. Bu durum çok merkezli veri gerektiren çalışmalarda ciddi bir engel oluşturmakta, farklı hastanelerden derlenen verilerle kapsamlı modeller geliştirmeyi bir o kadar zorlaştırmaktadır.

Veri paylaşımı kısıtlarının üstesinden gelmek için federe öğrenme (FÖ) yaklaşımı son yıllarda araştırmacıların gündemine girmiştir. Bu yaklaşımda ham veriler herhangi bir merkeze taşınmadan model eğitimi birbirinden ayrı veri kaynakları üzerinde dağıtık olarak işletilmektedir. Her katılımcı kendi verisi üzerinde bağımsız biçimde eğitim yürütmekte, ortaya çıkan model güncellemeleri ham veri paylaşımına gerek kalmaksızın bir araya getirilerek global bir model üretilmektedir⁷.

FÖ sağlık alanında son yıllarda giderek daha fazla araştırmacının ilgi odağı haline gelmiş, tıbbi görüntü işleme ve analizi bağlamında bu yöntemi konu edinen çalışmaların sayısında da kayda değer bir artış yaşanmıştır⁸. Beyin tümörlerine yönelik literatür bu perspektiften değerlendirildiğinde, FÖ ekseninde yapılan çalışmaların son yıllarda belirgin bir ivme yakaladığı görülmektedir. Bu çalışma, beyin tümörü analizinde FÖ'den yararlanan araştırmaları derleyerek ilgili literatürü bütüncül bir bakışla incelemeyi hedeflemektedir.

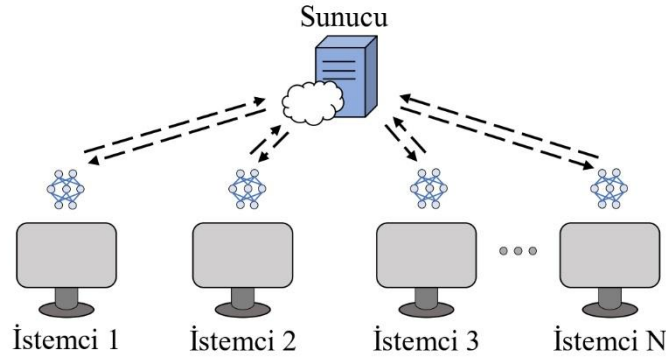
2. FEDERE ÖĞRENME YAKLAŞIMI

2.1. Federe Öğrenme Mimarisi

Kurumlar arası veri paylaşımının önündeki gizlilik engellerini aşmak üzere ortaya çıkan FÖ, ham verilerin ortak bir havuzda toplanması gerekmeksizin birbirinden bağımsız tarafların tek bir model üzerinde birlikte eğitim yürütebildiği dağıtık bir öğrenme düzenidir. Alışlagelmiş merkezi eğitim anlayışında tüm verilerin aynı ortamda bir araya gelmesi ön koşuldur. Ne var ki hasta mahremiyeti ve veri güvenliği başta olmak üzere çeşitli yasal yükümlülükler bu tür bir

paylaşımın önünde ciddi bir engel oluşturmakta, dolayısıyla merkezi veri toplama anlayışı sağlık alanında pratikte karşılık bulmaktan uzak kalmaktadır.

Bu noktada FÖ, istemci-sunucu temelli bir yapı üzerine kurulu çözümünü devreye sokmaktadır. Mimarinin odağında global modeli koordine eden merkezi bir sunucu bulunmakta, bu sunucunun etrafında ise yalnızca kendi yerel verisiyle eğitim yürüten istemciler konumlanmaktadır. Pratikte hastaneler ve araştırma merkezleri bu istemci rolünü üstlenmektedir. Merkezi sunucu başlangıç modelini oluşturup katılımcılara gönderdikten sonra her katılımcı modeli yalnızca kendi elindeki veriyle güncellemekte ve elde ettiği parametre setini sunucuya iletmektedir. Veri transferine gidilmeksizin işleyen bu döngü, kurumlar arası iş birliğini mahremiyetten ödün vermeden sürdürmeyi mümkün kılmaktadır. Söz konusu mimarinin genel işleyişi Görsel 1’de gösterilmektedir.



Görsel 1. Federe Öğrenme Mimarisinde İstemci-Sunucu Tabanlı Model Eğitim Süreci

2.2. Model Mimarisi ve Derin Öğrenme Yaklaşımları

FÖ sistemlerinde göz ardı edilemeyecek temel teknik gerekliliklerden biri tüm istemcilerin aynı model mimarisini kullanmasıdır. Merkezi sunucunun farklı istemcilerden gelen parametreleri anlamlı biçimde bir araya getirebilmesi ancak katılımcıların özdeş sinir ağı yapısını benimsemesiyle mümkün olmaktadır.

Beyin tümörü analizine odaklanan çalışmalarda bu gereklilik doğrultusunda derin öğrenme tabanlı mimariler ön plana çıkmaktadır. Tıbbi görüntülerin işlenmesinde sergilediği yüksek başarı nedeniyle konvolüsyonel sinir ağları (KSA) bu çalışmalarda sıkça tercih edilmektedir. Genellikle önceden eğitilmiş KSA mimarileri başlangıç ağırlıkları ile devreye sokulmakta ve özellikle veri miktarının yetersiz kaldığı koşullarda bu tercih daha kararlı bir öğrenme süreci elde edilmesine zemin hazırlamaktadır.

2.3. Eğitim Süreci ve İletişim Turu Yapısı

FÖ’de model eğitimi iletişim turlarına dayanan yinelemeli bir yapı içinde ilerlemektedir. Her turun başında merkezi sunucu güncel global model parametrelerini istemcilere aktarmaktadır. Parametreleri kendi modeline yükleyen her istemci, yerel veri seti üzerinde belirlenen eğitim adımlarını tamamladıktan sonra güncel ağırlıklarını sunucuya iletmektedir. Sunucu bu ağırlıkları ilgili birleştirme yöntemiyle birleştirip bir sonraki global modeli üretmekte ve öngörülen performans eşiğine ulaşılan dek süreç tekrarlanmaktadır.

2.4. Model Parametrelerini Birleştirme: Federated Averaging

FÖ sistemlerinde istemcilerden gelen model güncellemelerini global düzeyde birleştirmek üzere farklı algoritmalar önerilmiş olmakla birlikte, Federated Averaging (FedAvg)⁹ bu alanda en geniş uygulama tabanına sahip yöntem olma özelliğini korumaktadır. FedAvg'ın çalışma mantığı, her istemcinin yerel eğitim sonrasında sunucuya gönderdiği parametre setini o istemcinin sahip olduğu veri miktarıyla orantılı biçimde ağırlıklandırmaya ve bu ağırlıklandırılmış katkıları tek bir global modelde toplamaya dayanmaktadır. Denklem 1, bu ağırlıklı toplama işlemini matematiksel olarak ortaya koymaktadır.

$$w_{t+1} = \sum_{k=1}^K \frac{n_k}{n} w_k^t \quad (1)$$

Denklem 1'de w_{t+1} , bir sonraki iletişim turuna aktarılacak global ağırlık vektörünü göstermektedir. w_k^t , k . istemcinin t . iletişim turu sonunda kendi yerel veri seti üzerinde gerçekleştirdiği eğitim sonucunda elde edilen parametre vektörünü ifade etmektedir. n_k , ilgili istemcinin veri setindeki örnek sayısını, n ise tüm istemcilerdeki örneklerin toplam sayısını temsil etmektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde literatürde yakın zamanda beyin tümörü teşhisi üzerine yapılmış olan FÖ tabanlı çalışmalar incelenmektedir. İncelenen bilimsel makalelerde beyin tümörü teşhisinde FÖ'nün temel tercih sebebi olarak hassas tıbbi verilerin kurum dışına çıkarılmadan yerel cihazlarda eğitilmesini sağlayarak veri gizliliğini en üst düzeyde koruması gösterilmektedir. Bu çalışmalar, merkezi eğitimin aksine verilerin paylaşılmadığı durumlarda bile FÖ yardımıyla merkezi olmayan eğitim sonucu kolektif bir modelin oluşturulabileceğini savunmaktadır. Çalışmalarda vurgulandığı üzere, bu yaklaşım katı veri koruma yönetmeliklerine tam uyum sağlayan teknik ve yasal bir çözüm sunmaktadır. FÖ, hastaneler arasındaki veri paylaşım sorununu aşarak, farklı kurumlardaki nadir vakaların bile global modelin başarısına katkıda bulunmasını sağlayan bir zemin oluşturmaya yardımcı olmaktadır.

FÖ'nün klinik uygulanabilirliğini doğrudan belirleyen temel parametre, görüntü verilerinin istemciler arasındaki istatistiksel dağılımıdır. Literatürde bu durum, homojenliği temsil eden IID (Bağımsız ve Özdeş Dağılmış) ve gerçek dünya heterojenliğini yansıtan Non-IID (Özdeş Dağılmamış) senaryoları üzerinden ele alınmaktadır. IID koşullarında tümör sınıfları istemciler arasında dengeli biçimde dağılırken, Non-IID koşullarında Muntazim ve Smrity'nin (2025) de belirttiği üzere bir istemci belirli bir tümör tipine ait yoğun görüntülere sahipken diğeri yalnızca sağlıklı beyin taramalarından oluşan bir veri setiyle sınırlı kalabilir¹³. Bu sınıf dağılımı dengesizliği, yerel model ağırlıklarında sapmaya ve global modelin yakınsamasının gecikmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte, bu koşullar altında başarılı sonuçlar elde edilebilmesi, yöntemin gerçek hastane ağlarına uyarlanabilirliğinin kanıtlanması bakımından temel bir gerekliliktir.

Çizelge 1, çalışmalarda kullanılan yöntem, model ve veri setlerini özetle göstermektedir. İncelenen çalışmaların büyük bölümünde global model güncellemesi için FedAvg algoritması kullanılmıştır. Çalışmaların yöntemsel detaylarına inildiğinde, federe mimarilerin kurulumu ve deneysel süreçleri aşağıda açıklanmıştır.

Aggarwal vd. (2024) veri gizliliğini koruyan bir transfer öğrenme modeli önermişlerdir. Modelde DenseNet201 mimarisi kullanılmış olup, sistem merkezi sunucu ile 4 istemci arasında yapılandırılmıştır. Deneylerde 4 farklı sınıftan oluşan toplam 3264 MRG görüntüsünü barındıran Kaggle veri seti kullanılmıştır. Eğitim süreci 10 iletişim turu olarak belirlenmiş ve her turda istemcilerin her biri 10 yerel eğitim turu gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, IID senaryoda %96,39, Non-IID senaryoda ise %94,44 doğruluk oranına ulaşıldığı görülmektedir. Merkezi eğitim yaklaşımıyla eğitilen DenseNet201 modelinin ise %99,16 doğruluk elde ettiği görülmüştür¹⁰.

Appasami ve Savarimuthu (2025) çalışmalarında, federe transfer öğrenme yaklaşımıyla VGG16 tabanlı bir mimari kurmuşlardır. 4 istemci üzerinden yürütülen sistemde 16 iletişim turu gerçekleştirilmiş ve her iletişim turunda 16 yerel eğitim turu uygulanarak toplam 1024 turluk yoğun bir eğitim sağlanmıştır. Kaggle üzerinden temin edilen ve 4 farklı sınıftan toplam 7023 MRG görüntüsü içeren veri setinde, merkezi eğitim %97,94 doğruluk oranına ulaşırken, önerilen federe model %98,40 doğruluk, yüksek kesinlik ve duyarlılık değerleri kaydederek merkezi yaklaşımı geride bırakmıştır¹¹.

Sharma vd. (2025) çalışmalarında, glioma tümörlerinin tespiti için MobileNetV2 tabanlı FÖ yaklaşımı önermişlerdir. Kaggle üzerinden elde edilmiş toplam 2642 görüntü içeren, glioma ile sağlıklı MRG görüntülerinden oluşan 2 sınıflı veri seti kullanılmıştır. Deneyler 5 ve 10 istemcili senaryolarda gerçekleştirilmiş olup, 10 iletişim turu ve her turda 10 yerel eğitim turu uygulanmıştır. 5 istemcili IID senaryoda %99,76, Non-IID senaryoda ise %99,71 doğruluk elde edilmiştir¹².

Muntaqim ve Smrity (2025) gerçek dünya koşullarını simüle eden Non-IID veri dağılımlarına odaklanmış ve federe ortamda VGG19 mimarisini kullanmışlardır. Kaggle üzerinden erişilen 4 sınıflı 7023 görüntüden oluşan veri seti, 4 istemci arasında Non-IID yapıda paylaştırılmıştır. 50 ile 100 iletişim turu uygulanan çalışmada FedAvg algoritması ile %97,18 doğruluk elde edilmiş ve global model, istemci modellerinden daha yüksek performans göstermiştir¹³.

Kani ve Ayothi (2025) FÖ yaklaşımını hibrit bir optimizasyon yaklaşımıyla birleştiren bir çerçeve tanıtmışlardır. Mimari 10 istemci üzerine inşa edilmiş ve yerel hiperparametreler, Genetik Algoritma (GA) ve Simülasyonlu Tavlama (ST) ile dinamik olarak ayarlanmıştır. Hedef doğruluğa 52 iletişim turunda ulaşılırken, her iletişim turunda yerel eğitimde toplam 100 eğitim turu kullanılmıştır. Kaggle üzerinden elde edilen ve 4 farklı sınıftan oluşan toplam 7023 görüntü içeren veri setinde %98,75 doğruluk, yüksek kesinlik ve duyarlılık elde edilmiştir. Önemli bir ayrıntı olarak, bu yüksek performans değerleri FedAvg algoritmasıyla değil, yazarların geliştirdiği özel birleştirme stratejisiyle sağlanmıştır. Model güncellemeleri FedAvg algoritmasında genellikle eşit veya veri boyutuna göre birleştirilirken, bu çalışmada “Fitness Puanı” sistemi kullanılmıştır. Yani hangi istemcinin modeli daha başarılıysa, onun bilgisine global model oluşturulurken daha fazla ağırlık verilmiştir. FedAvg, bu çalışmada yalnızca önerilen modelin üstünlüğünü kanıtlamak için bir karşılaştırma unsuru olarak kullanılmış ve aynı veri setinde %96,12 doğruluk oranıyla daha zayıf bir performans sergilemiştir¹⁴.

Mastoi vd. (2025), GoogLeNet mimarisi ile entegre edilmiş açıklanabilir yapay zeka destekli bir FÖ modeli geliştirmişlerdir. Mimari, merkezi sunucu ve 10 istemci üzerinden yapılandırılmış ve toplam 50 iletişim turu boyunca her istemcide tur başına 3 yerel eğitim turu ile yürütülmüştür. 7023 MRG görüntüsü ve 4 sınıf içeren veri seti kullanılan çalışmada, %94,24 doğruluk elde edilmiştir. Ayrıca açıklanabilir yapay zeka yöntemleri ile teşhislerin yorumlanabilirliği artırılmıştır¹⁵.

Çalışmalarda raporlanan sayısal metrikler detaylı bir şekilde Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 1. İncelenen Çalışmaların Özeti

Çalışma	Yöntem	Model	Veri Seti
Aggarwal vd. (2024) ¹⁰	FÖ+FedAvg	DenseNet201	Kaggle Brain Tumor Classification (MRI)
Appasami ve Savarimuthu (2025) ¹¹	FÖ+FedAvg	VGG16	Kaggle Brain Tumor MRI
Sharma vd. (2025) ¹²	FÖ+FedAvg	MobileNetV2	Kaggle Brain Tumor MRI
Muntaqim ve Smrity (2025) ¹³	FÖ+FedAvg	VGG19	Kaggle Brain Tumor MRI
Kani ve Ayothi (2025) ¹⁴	FÖ+GA-ST	CNN	Kaggle Brain Tumor MRI
Mastoi vd. (2025) ¹⁵	FÖ+FedAvg	GoogLeNet	Kaggle Brain Tumor MRI

Çizelge 2. Raporlanan Metrikler

Çalışma	Veri Dağılımı	Metrikler		
		Doğruluk	Kesinlik	Duyarlılık
Aggarwal vd. (2024) ¹⁰	IID	%96,39	%95,97	%96,53
	Non-IID	%94,44	%94,04	%94,50
Appasami ve Savarimuthu (2025) ¹¹	Belirtilmemiş	%98,40	%98,30	%98,26
Sharma vd. (2025) ¹²	IID	%99,76	%99,99	%99,70
	Non-IID	%99,71	%100	%99,62
Muntaqim ve Smrity (2025) ¹³	Non-IID	%97,18	%95,00	%98,00
Kani ve Ayothi (2025) ¹⁴	Non-IID	%98,75	%98,32	%97,86
Mastoi vd. (2025) ¹⁵	Belirtilmemiş	%94,24	%93,74	%93,89

İncelenen çalışmalar bir bütün olarak ele alındığında, beyin tümörü teşhisinde FÖ’nün en kritik avantajının veri gizliliğinden taviz vermeden kurumlar arasında ortak model eğitime olanak tanınması olduğu görülmektedir. Doğruluk, kesinlik ve duyarlılık gibi performans metriklerinin büyük ölçüde yüksek seviyelerde raporlandığı, hatta kimi çalışmalarda FÖ modellerinin merkezi eğitimle kıyaslanabilir sonuçlar ortaya koyduğu göze çarpmaktadır. Non-IID senaryolarda belirli bir performans kaybı yaşansa da, bu düşüşün çoğunlukla sınırlı düzeyde

kaldığı ve yöntemin heterojen veri yapısına sahip gerçek dünya koşullarında da uygulanabilir bir potansiyel barındırdığı anlaşılmaktadır. Ne var ki, yöntemin klinik pratiğe aktarılması önünde ciddi engeller hala durmaktadır. Başta istemciler arasındaki veri heterojenliği ve sınıf dengesizliği olmak üzere, deneylerin büyük çoğunluğunun kısıtlı sayıda istemci ve tek bir veri seti üzerinde yürütülmesi, merkezi olmayan mimarilerde yaşanan yakınsama güçlükleri ile iletişim maliyeti, ağ gecikmesi, bağlantı kopmaları ve birbirinden farklı donanım kapasiteleri gibi pratik sorunlar ön plana çıkmaktadır.

Gelecekte yapılması planlanan çalışmalarda, ilk göze çarpan şey, modelin çok daha geniş ve farklı kaynaklardan elde edilen verilerle test edilmesi gerektiğidir. Tek bir veri setinde elde edilen yüksek performans, modelin farklı klinik koşullarda genellenebilirliğini göstermek için tek başına yeterli değildir. Bir diğer önerilen konu ise iletişim yüküdür. Model parametrelerinin her seferinde istemci ile sunucu arasında eksiksiz aktarılması yerine sıkıştırılmış halde gönderilmesi önerilmiş ve bu durumun hem süre hem de kaynak tüketimi bakımından kayda değer bir fark yaratabileceği öngörülmüştür. Global modeli güncelleme adımıyla ise FedAvg'ın tek başına her zaman yeterli olamayabileceği ortaya atılmıştır. Özellikle istemciler arasındaki veri dağılımı belirgin şekilde farklılaştığında daha farklı davranan birleştirme algoritmalarına da ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlara ek olarak, istemcilerden sunucuya geçen model bilgisinin güvenliği de tartışılan konular arasında yer almaktadır. Bu bilgilerin ek gizlilik katmanlarıyla korunması gerektiği bazı çalışmalarda özellikle vurgulanmıştır. Klinisyenlerin model kararlarını anlayabilmesi meselesi ise ayrı bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Açıklanabilir yapay zeka yöntemlerinin federe yapılara daha sıkı entegre edilmesi bu açıdan kritik bir adım olarak görülmektedir.

Tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, çalışmalara göre FÖ'nün beyin tümörü teşhisinde yüksek potansiyeli olan bir yaklaşım olduğu ortadadır. Ancak bundan sonraki çalışmaların sadece doğruluk oranlarını artırmaktan öte, klinik pratiğe uygun, sağlam ve şeffaf sistemler kurmayı hedeflemesi gerektiği anlaşılmaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Özetle bu çalışmada beyin tümörü teşhisine yönelik derin öğrenme tabanlı FÖ çalışmaları FedAvg algoritması üzerinden incelenmiştir. İncelenen makalelerde tercih edilen modeller, yararlanılan veri setleri ve raporlanan sayısal sonuçlar gösterilmiştir. Altı farklı çalışmadan elde edilen bulgular incelendiğinde, farklı derin öğrenme mimarilerinin federe yapı içinde yüksek performans gösterdiği ve doğruluk değerlerinin %94 ile %99 aralığında kaldığı görülmüştür. Üstelik bazı çalışmalarda federe modelin merkezi eğitimle elde edilen sonuçları da aştığı gözlemlenmiştir.

Mevcut literatürün sınırlılıklar barındırdığı da göz ardı edilmemelidir. İncelenen çalışmaların büyük bölümünün kısıtlı veri setleri üzerinde ve görece az sayıda simüle edilmiş istemciyle yürütülmüş olması, elde edilen bulguların gerçek klinik koşullara ne ölçüde genellenebileceği sorusunu beraberinde getirmektedir. Non-IID senaryolarda gözlemlenen performans düşüşleri, heterojen veri dağılımlarının federe sistemler üzerindeki baskısını somut biçimde ortaya koymaktadır. Bu durum daha farklı birleştirme algoritmalarına ve

güçlendirilmiş gizlilik mekanizmalarına olan ihtiyacı ön plana taşımaktadır. Sonuç olarak, FÖ tıbbi görüntü analizinde veri paylaşım engellerini aşmaya yönelik umut verici bir yaklaşım olarak değerlendirilebilir. Ancak gerçek anlamda klinik pratiğe aktarılabilmesi için farklı kaynaklardan, gerçek hasta verileriyle yürütülecek kapsamlı doğrulama çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Rasheed, M., Iqbal, S., Jaffar, A. ve Akram, S., Advanced Deep Learning-Based Brain Tumor Classification Using a Novel Customized CNN and Optimized Residual Network, PLOS ONE, 20, 10, e0334430, 2025.
2. Ilic, I. ve Ilic, M., International Patterns and Trends in the Brain Cancer Incidence and Mortality: An Observational Study Based on the Global Burden of Disease, Heliyon, 9, e18222, 2023.
3. Delgado, A.F., Advances of MR Imaging in Glioma: What the Neurosurgeon Needs to Know, Acta Neurochirurgica, 167, 174, 2025.
4. Amin, J., Sharif, M., Haldorai, A., Yasmin, M. ve Nayak, R.S., Brain Tumor Detection and Classification Using Machine Learning: A Comprehensive Survey, Complex & Intelligent Systems, 8, 3161-3183, 2022.
5. Dasaradharami Reddy, K., Gadekallu, T.R., A Comprehensive Survey on Federated Learning Techniques for Healthcare Informatics, Computational Intelligence and Neuroscience, 8393990, 19 pages, 2023.
6. Rieke, N., Hancox, J., Li, W. vd., The future of digital health with federated learning, npj Digit. Med., 3, 119, 2020.
7. Guan, H., Yap, P.T., Bozoki, A. ve Liu, M., Federated Learning for Medical Image Analysis: A Survey, Pattern Recognition, 151, 110424, 2024.
8. Chowdhury, A., Kassem, H., Padoy, N., Umeton, R., Karargyris, A., *A Review of Medical Federated Learning: Applications in Oncology and Cancer Research*. In: Crimi, A., Bakas, S. (eds) Brainlesion: Glioma, Multiple Sclerosis, Stroke and Traumatic Brain Injuries. BrainLes 2021. Lecture Notes in Computer Science, vol 12962. Springer, Cham, 2022.
9. McMahan, B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S. ve Arcas, B.A., Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data, Proceedings of the 20th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, Proceedings of Machine Learning Research, 54, 1273-1282, PMLR, 2017.
10. Aggarwal, M., Khullar, V., Goyal, N., Rastogi, R., Singh, A., Torres, V.Y. ve Albahar, M.A., Privacy Preserved Collaborative Transfer Learning Model with Heterogeneous Distributed Data for Brain Tumor Classification, International Journal of Imaging Systems and Technology, 34, 2, e22994, 2024.
11. Appasami, G., Savarimuthu, N., Federated learning for secure medical MRI brain tumor image classification, Eur. Phys. J. Spec. Top, 234, 4813–4827, 2025.
12. Sharma, S., Guleria, K., Dogra, A., Gupta, D., Juneja, S. vd., A privacy-preserved horizontal federated learning for malignant glioma tumour detection using distributed data-silos, PLOS ONE 20(2): e0316543, 2025.

13. Muntaqim, M.Z., Smrity, T.A., Federated Learning Framework for Brain Tumor Detection Using MRI Images in Non-IID Data Distributions, J. Digit. Imaging Inform. Med., 38, 3909–3927, 2025.
14. Nagoor Kani, J., Ayothi, S., Enhancing Medical Image Analysis with FL Brain-HOA: A Federated Learning and Hybrid Optimization Approach, Iran J Sci Technol Trans Electr Eng 49, 1793–1818, 2025.
15. Mastoi, Q., Latif, S., Brohi, S., Ahmad, J., Alqhatani, A., Alshehri, M.S., Al Mazroa, A. ve Ullah, R., Explainable AI in Medical Imaging: An Interpretable and Collaborative Federated Learning Model for Brain Tumor Classification, Frontiers in Oncology, 15, 1535478, 2025.

THE NEURAL NETWORK ESTIMATION MODEL OF THE AP (nT) INDEX VIA GEOMAGNETIC STORMS

Dr. Emre Eroglu

Independent Researcher

eroglumre@gmail.com – ORCID ID: 0000-0002-7465-7449

ABSTRACT

This work estimates the *ap* (nT) zonal geomagnetic index throughout weak, moderate, and intense geomagnetic storms observed in 2024. An artificial neural network frames the estimation archetype via solar wind parameters. The network frame operates parameters as an input, and the *ap* index is forecasted as an output. This model obeys the cause-and-effect relation. The network employs backpropagation for training without memorizing. The model outcomes are evaluated by the correlation constant (*R*) and mean squared error values. Consequently, the *ap* index, the *R* of the *weak*, *moderate*, and *intense* storms are 97.0%, 99.9%, and 99.6%, and the mean squared errors are 4.833 nT, 0.724 nT, and 11.068 nT, respectively. The outcomes of the work are acceptable for the literature.

Keywords: Neural network, geomagnetic storm, solar wind parameters, *ap* (nT) zonal index.

1. INTRODUCTION

Solar wind oscillations, coronal pulses, and electromagnetic shifts occurring in the interplanetary medium affect Earth's upper atmosphere, causing magnetic disturbances. These disturbances manifest most prominently in events called geomagnetic storms. In simplest terms, a geomagnetic storm is a natural phenomenon observed when a massive cloud of energetic particles from the solar wind enters Earth's upper atmosphere. This high-energy particle cloud is released into the ionosphere-magnetosphere coupling. The energy exchange and magnetic reconnection (Fu et al. 2013; 2017) inevitably lead to magnetic disturbances and imbalances. These effects can be summarized as the heating and ionization of gases in the upper atmosphere, interference with radio signals, deviations in GPS signals, increased aurora borealis, and deviations in satellite orbits. In addition, communication disruptions may occur, and the impact of charged particles on the atmosphere causes excessive heating and expansion of the upper atmosphere. A geomagnetic storm (Eroglu 2018; 2019; Basciftci 2021) is observed in three phases: commencement, main phase, and recovery phase. A relative slowdown in solar wind speed is supported by one or more simultaneous hops in the dynamic pressure and the proton density. This instantaneous jump or burst is called a coronal mass ejection (CME). If this ejection is strong enough (more than one can be observed), it means the storm has received its initiation signal. In the hours following this ejection, the B_z (nT) component of the interplanetary magnetic field also orients from a north direction (positive values) to a south direction (negative values). This shift is followed by the observation of negative minima in the *Dst* (nT) index. The *Dst* index minima process is the main phase process of the storm. Subsequently, the storm data returns to pre-storm values, showing the recovery process for the storm. This study aims to support space weather forecasting studies by modeling the *ap* index

with a neural network (Rumelhart et al. 1986; Basciftci 2021). In this context, the modeling is managed by training the network with solar wind parameters for weak, moderate, and intense storms noted on May 31, April 16, and March 3, 2024.

2. MATERIALS AND METHOD

In today's world, where computers have become an indispensable part of life, artificial neural networks continue to make life easier. An attractive imitation of the nervous system, neural networks significantly ease the workload for researchers in modeling in different areas. The neural networks are also achieving highly successful modeling in space climate forecasting using space weather prediction tools. Space climate prediction models are built using solar wind parameters such as magnetic field, electric field, pressure, proton density, and solar wind speed. The successful learning of valid nonlinear relationships between these variables by artificial neural networks makes the models even more meaningful. Figure 1 indicates network frame for this problem.

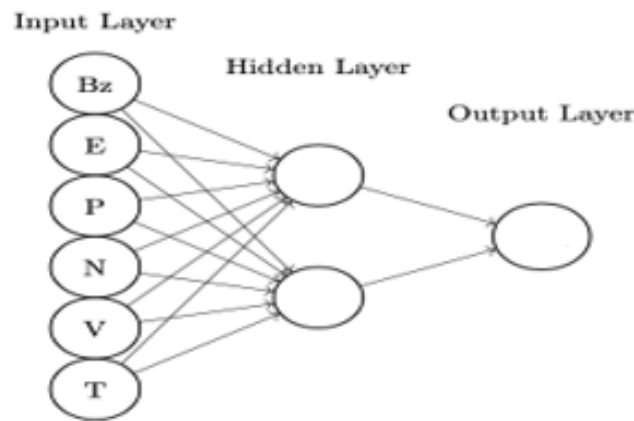


Figure 1. The Neural Network Appearance.

In this discussion, the network prototype contains of three core layers: input, hidden, and output layers. The input layer uses the solar wind parameters. The facts of the geomagnetic storm and neural network modeling are hidden in the solar wind parameters. The parameters used in this work: the magnetic field B_z (nT) part, the electric field E (mV/m), the dynamic pressure P (nPa), the proton density N (1/cc), the solar wind speed v (km/s), and the temperature T (K). The target from the output sheet is the a_p (nT). The a_p (nT) index is subtracted based on the K index, which is calculated from the deviation of the geomagnetic field in its quiet-time baseline. The K index is merged to calculate a global a_p zonal index. The dimensionless a_p index generally ranges from 0 nT to over 400 nT, depending on storm severity. The a_p zonal index pictures grades of activity from quiet ($a_p < 4$ nT) to intense ($29 \text{ nT} < a_p$). The a_p supplies beneficial particulars for space climate weather, geomagnetic storm observance, and methodical discussions on the upper atmosphere.

This work uses Eq. (1) as the activation function for processing the weights of the neurons. The principal role of an this function is to construct a nonlinear output by processing the weighted sum received from the inputs of a neuron of the artificial neural network. This crucial

modification enables the network to learn not only simple linear patterns but also complex real and actual data. The activation function is,

$$y_{ij} = \sum_{k=1}^n w_{kj}x_{ik} + b_j \quad (1)$$

in here w , x , y , and b are the *weight*, *input*, *output*, and *bias*, respectively. The transfer signal f as a logistic function is

$$f(y) = \frac{1}{1+e^{-y}}. \quad (2)$$

The nonlinear modification assurances that the output data are controlled by [0, 1].

The study utilizes *backpropagation* procedure for the key learning and training. For the meticulous education with the lowest deviation the *Scaled Conjugate Gradient* (trainscg) is employed.

120-hour data, which for weak, moderate, and intense geomagnetic storm, from OMNI is separated into three subclasses as 70% (84-hour), 15% (18-hour), and 15% (18-hour) for training, testing, and validation, respectively. 25 neurons are use in 31 May 2024 weak storm and 16 April moderate storm, and 27 neurons are used in 3 March intense storm for ap (nT) estimation model layer interaction.

The performance of the network is detected via the correlation coefficient R and the mean squared error (MSE). The R dealings the grade of linear association between the forecasted data and the genuine data. This association is

$$R = \frac{Cov(x,y)}{\sqrt{Var[x]Var[y]}} \quad (3)$$

here, *cov* means covariance and *var* means variance.

The MSE is denoted by the Eq. (4):

$$MSE = \frac{1}{n} \sum (y_{observed} - y_{estimated})^2. \quad (4)$$

This error rate confirms that the total prediction deviations is preserved similarly in terms of positive and negative scores.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This part offers an analysis of the consequences of the network model whose hypothetical background is discussed in the previous section. Figure 2-7 shows the results for the ap (nT) index estimation network model.

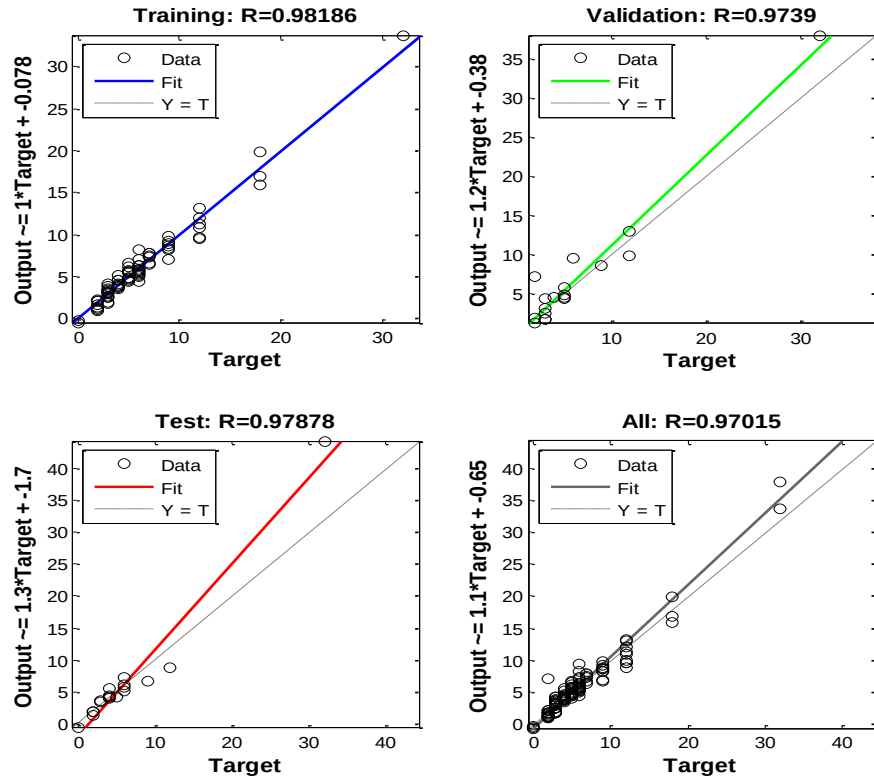


Figure 1. 31 May 2024 Weak Storm Results.

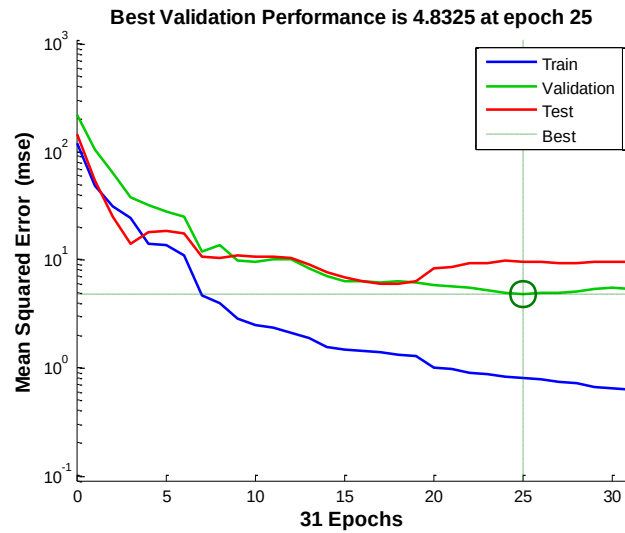


Figure 2. MSE Appearance of the Storm.

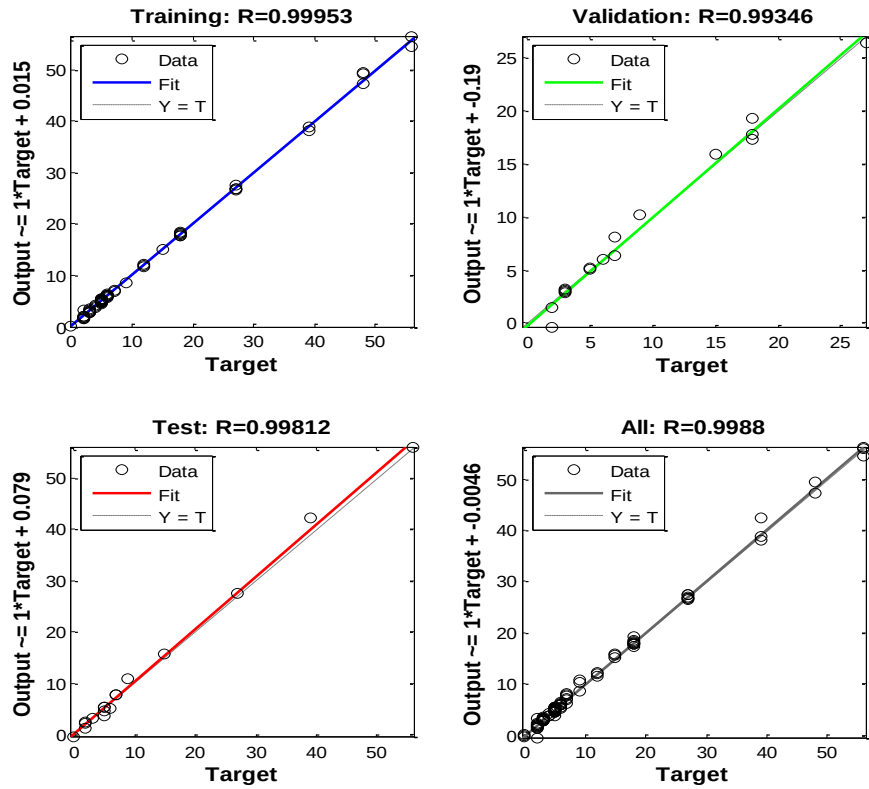


Figure 3. 16 April 2024 Moderate Storm Results.

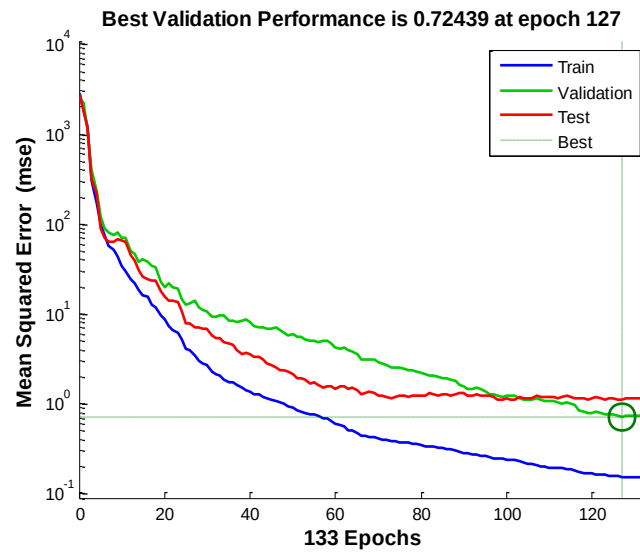


Figure 4. MSE Appearance of the Storm.

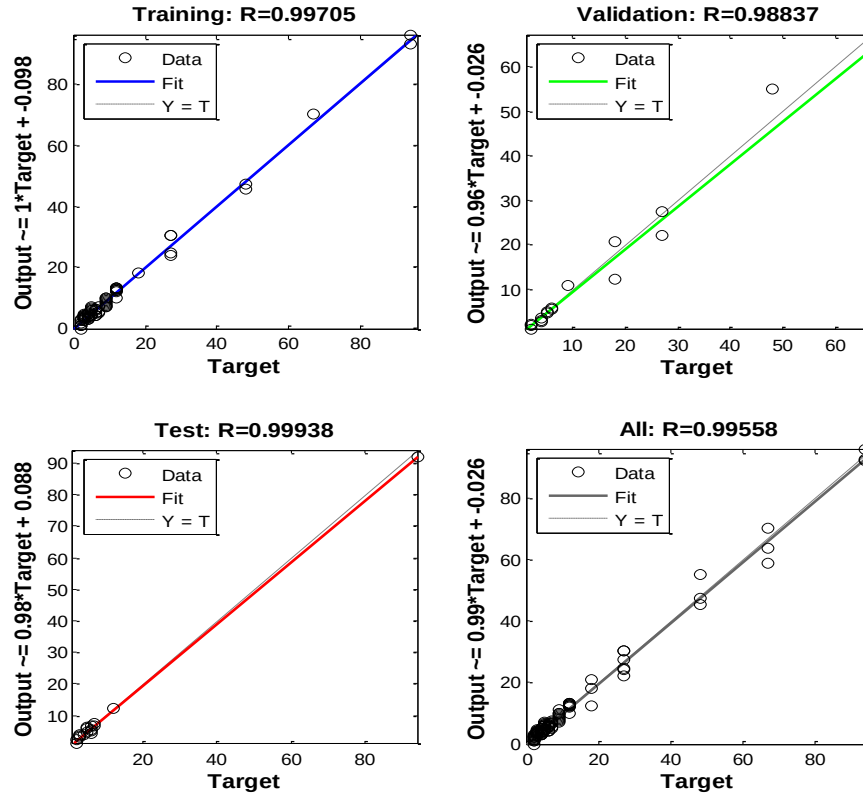


Figure 5. 3 March 2024 Intense Storm Results.

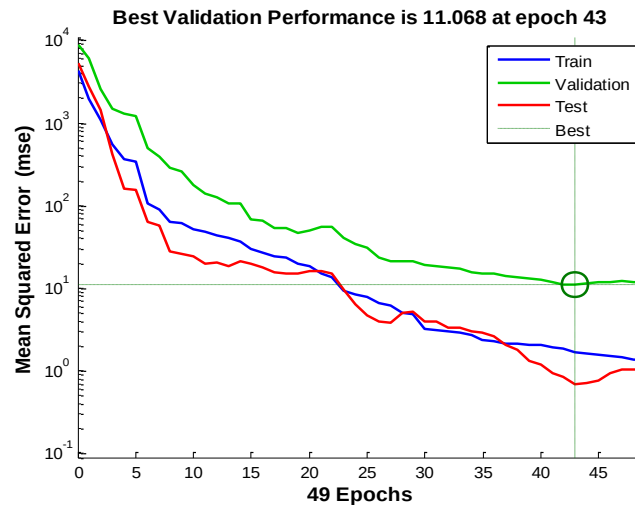


Figure 6. MSE Appearance of the Storm.

4. CONCLUSION

The results obtained in this study are consistent with the literature. The accuracy of the prediction and the character of the model of the ap(nT) zonal geomagnetic index are methodologically significant. The artificial neural network is trained using a dataset focusing on weak, moderate, and intense geomagnetic storms, with the principle of causality governing the argument at each stage. In this context, solar wind parameters are the input, while the ap index is presented as the output. As a result, the ap(nT) index and R values for weak, moderate,

and intense storms are 97.0%, 99.9%, and 99.6%, respectively, and the mean square errors are 4.833 nT, 0.724 nT, and 11.068 nT, respectively. The results of the work are also supportive of future model discussions related to the zonal geomagnetic indices.

REFERENCES

1. Fu, H.S., Khotyaintsev, Y.V., Vaivads, A., Retinò, A., André, M. Energetic electron acceleration by unsteady magnetic reconnection. *Nature Physics*, 9, 426-430, 2013. <https://doi.org/10.1038/nphys2664>
2. Fu, H.S., Vaivads, A., Khotyaintsev, Y.V., André, M., Cao, J.B., Olshevsky, V.J., Eastwood, P., Retinò A. Intermittent energy dissipation by turbulent reconnection. *Geophysical Research Letters*, 44, 1, 37-43, 2017. <https://doi.org/10.1002/2016GL071787>
3. Eroglu, E. Mathematical modeling of the moderate storm on 28 February 2008. *New Astronomy*, 60, 33-41, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2017.10.002>
4. Eroglu, E. Modeling the superstorm in the 24th solar cycle. *Earth, Planets and Space*, 71, 1, 26, 2019. <https://doi.org/10.1186/s40623-019-1002-1>
5. Basciftci, F. An analysis of the latest super geomagnetic storm of the 23RD solar cycle (May 15, 2005, Dst: -247 nT). *Geomagnetism and Aeronomy*, 61 (Suppl 1), S156–S166, 2021. <https://doi.org/10.1134/S0016793222010029>
6. Rumelhart, DE., Hinton, GE., Williams, RJ. Learning representations by back-propagating errors. *Nature*, 323, 6088, 533–536, 1986. <https://doi.org/10.1038/323533a0>

TRADITIONAL INTERPOLATION APPROACHES AND BEZIER CURVE ESTIMATION MODEL COMPARISON AROUND JAPAN, CHINA, AND SOUTH KOREA COVID CASE

Dr. Emre Eroglu

Independent Researcher

eroglumre@gmail.com – ORCID ID: 0000-0002-7465-7449

Nursena Eroglu

Beyoglu Anatolian High School

eroglunursena2008@gmail.com

ABSTRACT

The authors model COVID cases in Far Eastern countries using traditional linear and cubic spline interpolation methods and compare their results with a parametric Bézier curve. The main motivation for this discussion is to support researchers who are trying to learn from the hard experience. The models use the number of active COVID cases in February and March 2020. Consistency evaluation of the models for the relevant 66-day dataset is performed using the R correlation constant, absolute mean, and mean squared error. The Bézier prototype is a segmented, piecewise continuous C^0 class cubic curve. Compared to the results of traditional interpolation models, which yield meaningful and acceptable results for the literature, the Bézier approach presents a significantly advantageous frame. With a mean error below 1% and a mean square error below 0.2, the curve approach shows a stronger profile.

Keywords: Interpolation, Bézier curve, COVID.

1. INTRODUCTION

COVID (Eroglu et al. 2020(a); 2020(b); Baysazan et al. 2023; Tan et al. 2025), which occurred in 2020, has spread globally as a pandemic without allowing for preventative measures. Regardless of the level of development, with its diverse effects, COVID has caused radical changes in healthcare systems. In addition, the level of development of countries has been insufficient to ensure that intensive care units in hospitals could meet basic healthcare needs. In a sense, the global healthcare system has suffered damage from this pandemic that is difficult to heal. In developing countries, the problem has become intractable. Initially, a policy of denial is attempted, based on the assumption that this could solve the problems. This assumption has been quickly disproven by the speed of the virus's spread. Insufficient testing kits also seriously hampered the fight against the pandemic. The global economy has also suffered from the pandemic. Travel restrictions have disrupted global trade, while the impact of lockdowns on spending made it imperative for states to support their citizens. The effects of these social aid programs are still felt today, particularly in developed countries.

This discussion models the number of active COVID cases using the cubic *Bézier* prototype. The model is built on a 66-day dataset covering February and March 2020 for *Japan, China,* and South Korea. The piecewise continuous curve, constructed over 6-day segments, ensures C0 class continuity. The cubic Bézier curve includes four control points in each segment. Intermediate points of the model, with starting and ending points on the curve, are presented as the mean. The model results are evaluated using the *correlation constant* (R) and the *mean squared error* (MSE).

2. MATERIALS AND METHOD

2.1. Bézier Curve

In the 1970s, Pierre Bézier (Bézier 1972), an engineer at the Renault factory, proposed designing surfaces using a piecewise-continuous parametric curve. This design is still used today in a wide range of applications, from surface design and graphic modeling to image processing and error detection. Figure 1 shows some Bézier curves.

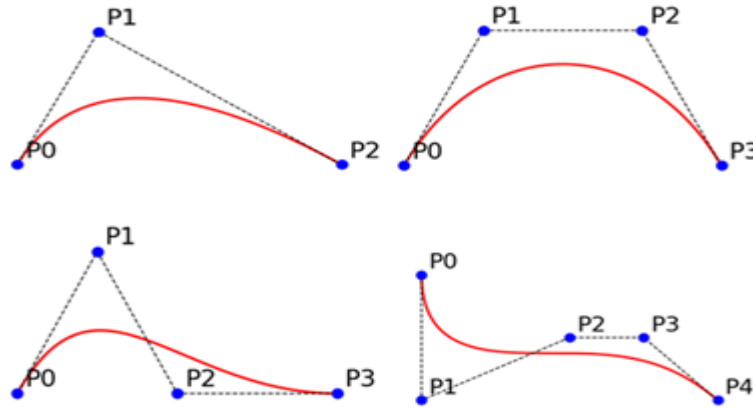


Figure 1. Some Bézier Curve

Bézier models the active COVID (Eroglu 2025) dataset for the period using a piecewise continuous parametric curve approach. In successive segments, a new segment begins immediately after the segment that ends. The connection between them is provided by a control point that belongs to both segments. This situation, provided by C⁰ class continuity, allows the curve model to be flexible and adaptable. While the curve is parameterized between 0 and 1, independent and dependent variables, as in other models, are not present. For each actual data point, the curve estimates with an appropriate parameter assignment between 0 and 1. An n-order arc has n+1 different control points. Eq. (1) (implicit) and (2) (explicit) express the Bézier curve using the Bernstein polynomial. On condition that that P_k are points (from actual dataset), 0 ≤ u ≤ 1, and k = 0, 1, 2, ..., n,

$$\mathfrak{B}(u) = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} (1-u)^{n-k} u^k P_k. \quad (1)$$

$$\mathfrak{B}(u) = \sum_{k=0}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} u^k (1-u)^{n-k} P_k \quad (2)$$

2.2. Linear Interpolation

This process is utilized for actual COVID dataset included February and March 2020. The *linear* interpolation is formed by the segments of this prototype. This approach is the easiest form for setting unknown data between dataset. The interpolation is performed by a linear line achieved by employing two available data. This line acquired from the dependent-independent variables forms the anonymous values. Eq. (3) shows the linear interpolation formula:

$$f(x) = \begin{cases} f(x_0) + m_0(x - x_0) & ; x_0 \leq x \leq x_1 \\ f(x_1) + m_1(x - x_1) & ; x_1 \leq x \leq x_2 \\ \dots \dots & \\ f(x_{n-1}) + m_{n-1}(x - x_{n-1}) & ; x_{n-1} \leq x \leq x_n \end{cases} \quad (3)$$

in here m_j is the slope as $m_j = [f(x_{j+1}) - f(x_j)]/[x_{j+1} - (x_j)]$ for individually linear segments.

Separation for the all segments is formed with 6-day data. Middle control points in each segment are specified by the average of the related dataset.

2.3. Cubic Splines

This prototype is called a *cubic spline* that is derived from a polynomial (3-order). It is formulated by Eq. (4),

$$f(x) = \begin{cases} f_0(x) & ; x_0 \leq x \leq x_1 \\ f_1(x) & ; x_1 \leq x \leq x_2 \\ \dots \dots & \\ f_{n-1}(x) & ; x_{n-1} \leq x \leq x_n \end{cases} \quad (4)$$

in here $f_j(x) = a_j(x - x_j)^3 + b_j(x - x_j)^2 + c_j(x - x_j) + d_j$ with $j=0,1,2\dots n-1$. Eq. (4) includes four crucial matters govern the cubic spline curve interpolation model:

First one is that the interpolation is performed by $f(x)$ throughout all data. Second one is for all $x \in [x_0, x_n]$, $f(x)$ must be continues. Third one is that for all $x \in [x_0, x_n]$, $f'(x)$ must be continues. The last issue is that for all $x \in [x_0, x_n]$, $f''(x)$ must be continuous.

Intermediate control points are determined by averaging as an iteration of the linear interpolation approach. Segments are established using 6-day datasets.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section presents a comparative analysis of the results of the models whose theoretical foundations are given in the second part. Figure 2-7 illustrates the consequences for the Bézier curve model.

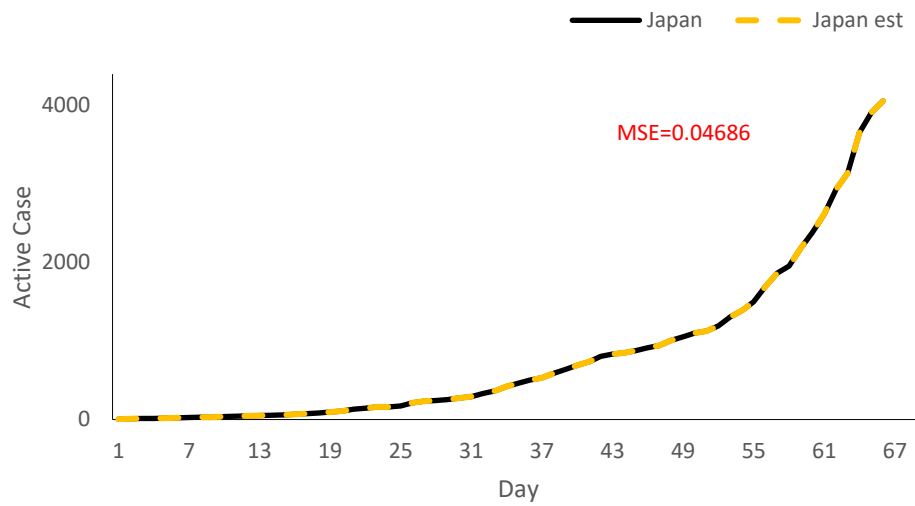


Figure 2. Bézier Curve for Japan.

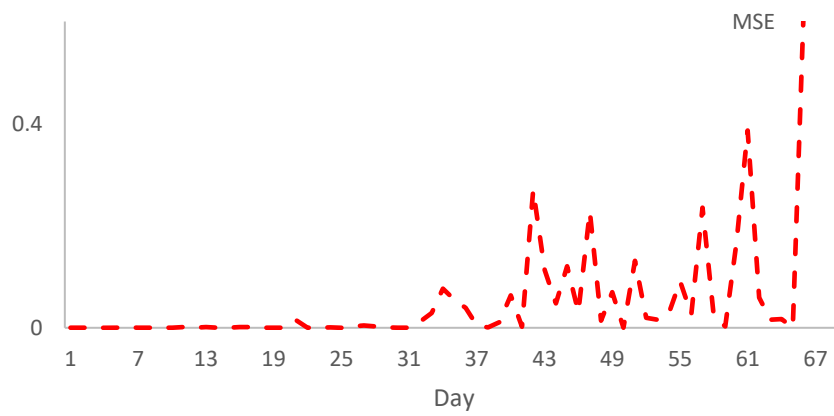


Figure 3. MSE of Japan Case.

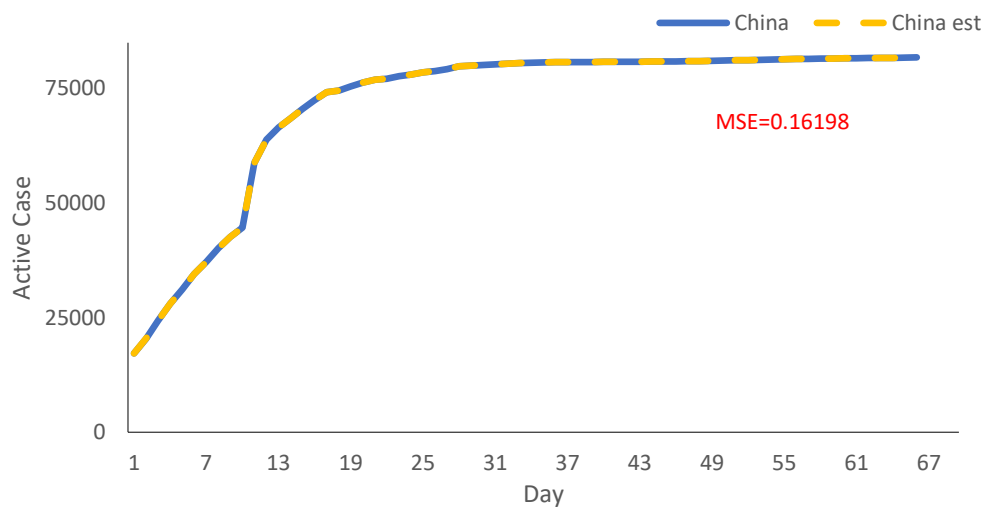


Figure 4. Bézier Curve for China.

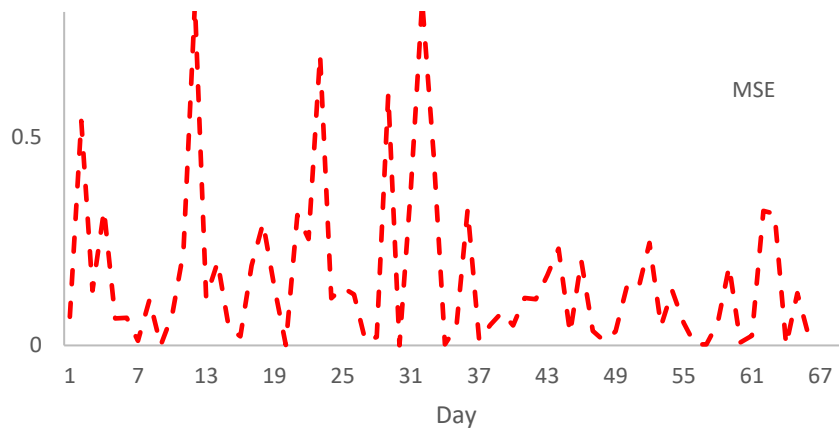


Figure 5. MSE of China Case.

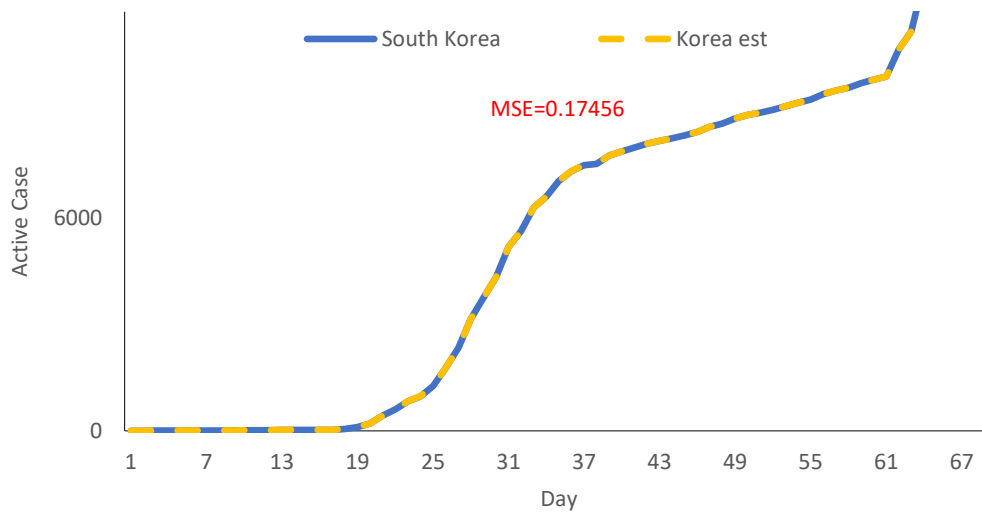


Figure 6. Bézier Curve for South Korea.

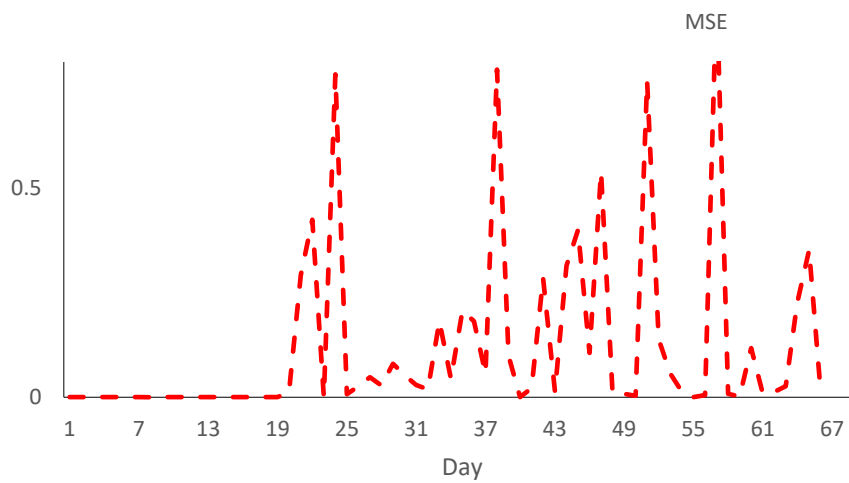


Figure 7. MSE of South Korea Case.

Figure 8-10 illustrates the consequences for the linear interpolation and cubic spline models.

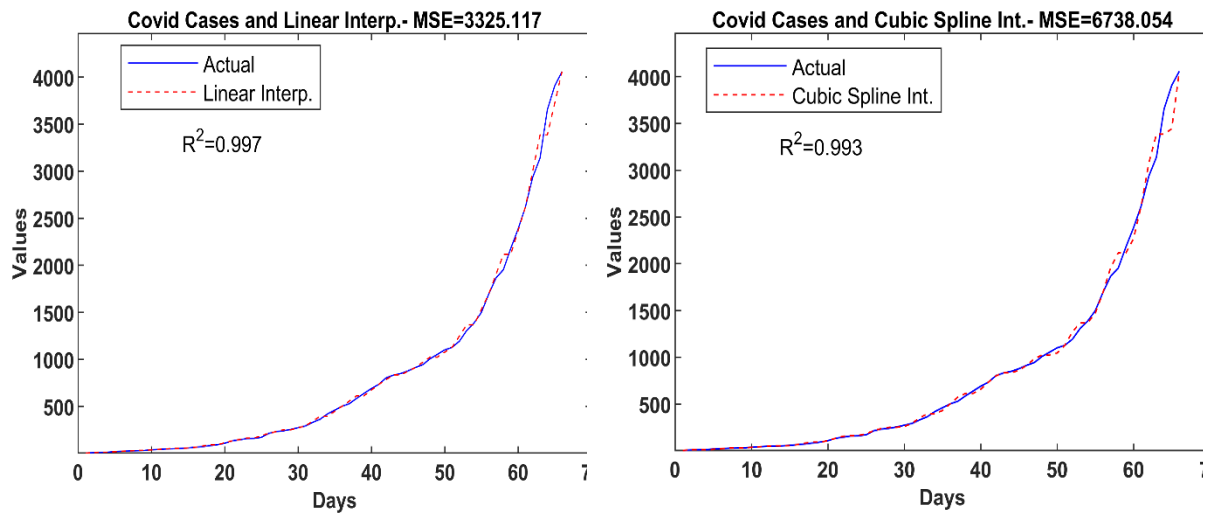


Figure 8. Linear Interpolation and Cubic Spline Model for Japan.

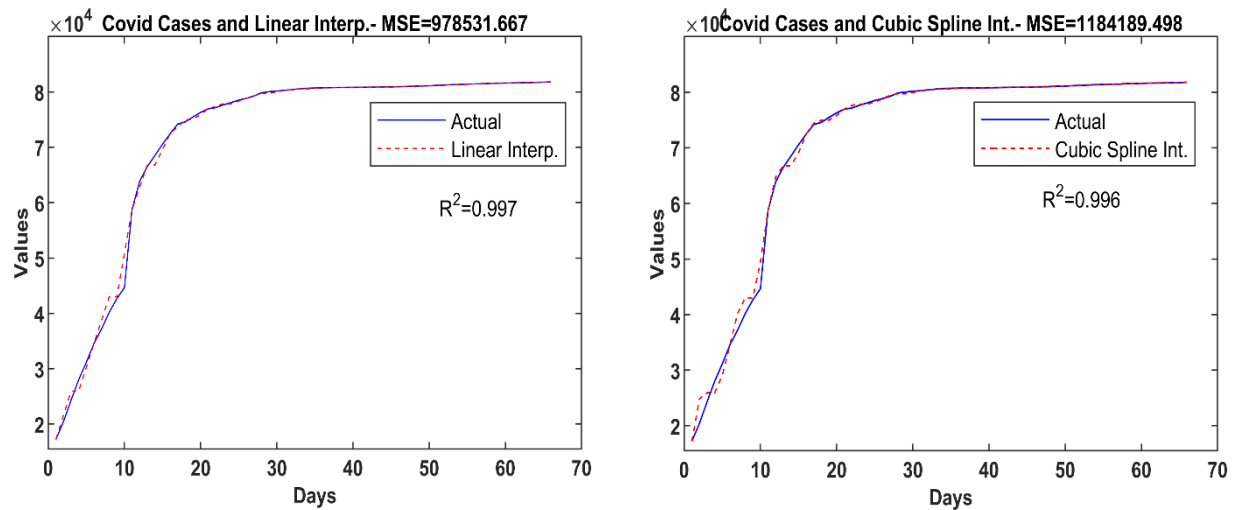


Figure 9. Linear Interpolation and Cubic Spline Model for China.

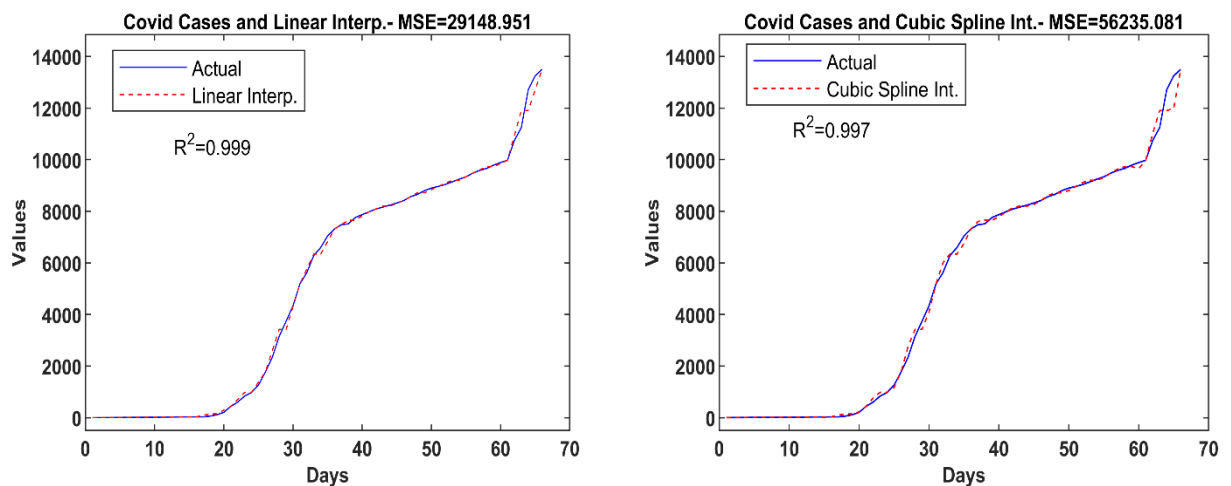


Figure 10. Linear Interpolation and Cubic Spline Model for South Korea.

4. CONCLUSION

The study estimates 66 days of the COVID active case data from February and March 2020. This data comes from Japan, China, and South Korea. A comparison of the Bézier curve model and interpolation shows that the curve approach is quite advantageous for estimation. The Bézier suitable for epidemic modeling without presenting a big error. With an MSE value reaching 0.05, it demonstrates its suitability for potential hybrid models. The curve is adjustable and adaptable for the estimation models. The curve archetype does not demand comprehensive preprocessing, initial input, or training for the estimation. The offered C0 class and segmented curve approach may regulate large amounts of data. It has a relatively low cost for forecasting. It may support other pandemic active case estimation studies in the near future.

REFERENCES

1. Eroglu, E., Esenpinar, AA., Bozkurt, E., Tek, S. Mathematical modeling of COVID-19 phenomenon; the cases: Germany, Israel, and Canada, Fresenius Environmental Bulletin, 29, 10, 9063-9074, 2020.
2. Eroglu, E., Bozkurt, E., Esenpinar, AA, Tek, S. Mathematical analysis of Covid-19 phenomenon, Journal of Engineering Technology and Applied Sciences, 5, 2, 59-65, 2020.
3. Baysazan, E., Berker, AN., Mandal, H., Kaygusuz, H. COVID-19 modeling based on real geographic and population data, Turkish Journal of Medical Sciences, 53, 1, 333-339, 2023.
4. Tan, CY, Jang, ST, Lam, SM, An, AQ, Lo UK. Teaching and learning challenges due to the COVID-19 pandemic: A systematic review, Educational Research Review, May 1;47, 100667, 2025.
5. Eroglu, E. Accurate estimation of COVID-19 active cases using Bézier curve-based mathematical modeling, Journal of Advances in Applied & Computational Mathematics, 12, 217-230, 2025.
6. Bézier, PE, *Numerical Control–Mathematics and Applications*, translated by A. R. Forrest and A. F. Pankhurst, John Wiley, England, 1972.

SOME RELATIONS FOR BI-PERIODIC PELL AND BI-PERIODIC PELL-LUCAS SEQUENCE

Doç. Dr. Sukran UYGUN

Gaziantep Üniversitesi

suygun@gantep.edu.tr - 0000-0002-7878-2175

Abdullah REMMO

Gaziantep Üniversitesi

remmo1453@gmail.com - 0000-0001-6924-9902

ABSTRACT

In this paper, we investigate the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences and establish several new identities related to these generalized recurrence sequences. By using the Binet representations, we derive new product identities and mixed relations between the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences. We also show that the obtained results include the classical Pell and Pell-Lucas identities as special cases. The parity-dependent structure of the recurrence relations is considered in detail, providing a broader perspective for the study of generalized Pell-type sequences. These results extend known properties of Pell-type sequences and provide additional relations for generalized bi-periodic recurrence sequences.

Keywords: Bi-periodic Pell sequence, Bi-periodic Pell-Lucas sequence, Binet formula

1. INTRODUCTION

Recursive sequences play an important role in number theory and discrete mathematics due to their rich algebraic structures and numerous generalizations. Among these sequences, Pell and Pell-Lucas sequences have attracted considerable attention because of their connections with Diophantine equations, combinatorial structures, and algebraic identities.

Unlike classical second-order recurrence sequences with constant coefficients, bi-periodic sequences allow alternating recurrence parameters depending on the parity of the index. This structure provides a natural generalization of classical sequences and leads to new identities that cannot be obtained directly from the standard recurrence relations. Yayenie investigated several properties of the bi-periodic Fibonacci sequence in [5-7]. Bilgici [8] introduced the bi-periodic Lucas sequence and established several properties of this sequence, as well as its relationship with the bi-periodic Fibonacci sequence. In [13,14], the authors derived various identities for the bi-periodic Pell and Pell-Lucas sequences. In [9-12,15,16], several identities for generalized bi-periodic Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas sequences are established. Tan found defined the bi-periodic Horadam sequences and found some properties of them in [17].

In [18], Choo investigated new relations between generalized bi-periodic Fibonacci and Lucas Sequences. The authors also denoted new basic properties of the generalized bi-periodic Fibonacci and Lucas sequences in [19]. The authors used the concept of bi-periodic for bivariate Mersenne polynomials in [20].

Unlike previous studies, this paper focuses on the interaction between bi-periodic Pell and Pell-Lucas sequences and derives new mixed identities.

Although several properties of bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences have been studied, many interactions between these two families remain open for investigation. In particular, mixed identities involving both sequences, product relations, and generalized forms of classical Pell identities deserve further attention.

Pell sequence is defined by the recurrence relation $p_{n+2} = 2p_{n+1} + p_n$ with the starting values $p_0 = 0$ and $p_1 = 1$ for $n \in \mathbb{N}$. Similarly, Pell-Lucas sequence is defined by the recurrence relation $q_{n+2} = 2q_{n+1} + q_n$ with $q_0 = 2$ and $q_1 = 2$ for $n \in \mathbb{N}$ [1-4]. Owing to the importance of special integer sequences, several generalizations have been introduced through modified recurrence relations and parameter-dependent formulations. There have been a number of generalizations on some of the various types of special integer sequences.

In this paper, we establish several new identities for bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences by using their Binet representations. We derive new summation formulas, product relations, and connections between these two generalized sequences. Moreover, we show that the obtained results reduce to well-known identities of the classical Pell and Pell-Lucas sequences for suitable parameter choices.

Definition 1.1 [14] For any natural number n and nonzero real numbers a and b , the bi-periodic Pell sequence $\{P_n\}_{n=0}^{\infty}$ is defined recursively by

$$P_0 = 0, P_1 = 1, P_n = \begin{cases} 2aP_{n-1} + P_{n-2}, & n \text{ is even} \\ 2bP_{n-1} + P_{n-2}, & n \text{ is odd} \end{cases} \quad (n \geq 2) \quad (1)$$

Definition 1.2 [13] Let n be a natural number. For any nonzero real numbers a and b , the generalized bi-periodic Pell-Lucas sequence $\{Q_n\}_{n=0}^{\infty}$ is defined recursively by

$$Q_0 = 2, Q_1 = 2a, Q_n = \begin{cases} 2bQ_{n-1} + Q_{n-2}, & n \text{ is even} \\ 2aQ_{n-1} + Q_{n-2}, & n \text{ is odd} \end{cases} \quad (n \geq 2) \quad (2)$$

Setting $a = b = 1$ yields the classic Pell and Pell-Lucas sequence. In this paper, we study numerous new properties of these sequences. The second order characteristic equation of the bi periodic Pell sequence is $x^2 - 2abx - ab = 0$. The roots are given in the following

$$\alpha = ab + \sqrt{ab(ab + 1)}, \quad \beta = ab - \sqrt{ab(ab + 1)}.$$

The generating function for bi-periodic Pell sequence is given by $P(x) = \frac{x+2ax^2-x^3}{1-(4ab+2)x^2+x^4}$.

For every n belonging to the set of natural numbers, the Binet formula for the bi-periodic Pell sequence is given by

$$P_n = \frac{a^{1-\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right) \quad (3)$$

In this paper, $[x]$ denotes the floor function defined as $[x] = \max\{n \in \mathbb{Z} \mid n \leq x\}$, and $\xi(n) = n - \left[\frac{n}{2}\right]$ represents the parity function of n .

Furthermore, the generating function for bi-periodic Pell-Lucas sequence is given by $Q(x) = \frac{2+2ax-(4ab+2)x^2+2ax^3}{1-(4ab+2)x^2+x^4}$. For all $n \in \mathbb{N}$, the Binet formula for the bi-periodic Pell-Lucas sequence is given by:

$$Q_n = \frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\left[\frac{n+1}{2}\right]}} (\alpha^n + \beta^n) \quad (4)$$

2 MAIN RESULTS

In this section, we present several new identities for the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences. The proofs are mainly based on the Binet representations and parity properties of these sequences.

Lemma 2.1 α and β satisfy the following properties:

- $(2\alpha + 1)(2\beta + 1) = 1$,
- $\alpha + \beta = 2ab$, $\alpha\beta = -ab$,
- $2\alpha + 1 = \frac{\alpha^2}{ab}$, $2\beta + 1 = \frac{\beta^2}{ab}$,
- $-(2\alpha + 1)\beta = \alpha$, $-(2\beta + 1)\alpha = \beta$

Lemma 2.2 The bi-periodic Pell sequence satisfies the following properties:

$$\begin{aligned} P_{2n} &= (4ab + 2)P_{2n-2} - P_{2n-4}, \\ P_{2n+1} &= (4ab + 2)P_{2n-1} - P_{2n-3}. \end{aligned}$$

Lemma 2.3 The bi-periodic Pell-Lucas sequence satisfies the following properties:

$$\begin{aligned} Q_{2n} &= (4ab + 2)Q_{2n-2} - Q_{2n-4}, \\ Q_{2n+1} &= (4ab + 2)Q_{2n-1} - Q_{2n-3}. \end{aligned}$$

Lemma 2.4 The following relation is used between the bi-periodic Pell sequence and the bi-periodic Pell-Lucas sequence

$$Q_n = P_{n-1} + P_{n+1}$$

Proof:

$$\begin{aligned} P_{n-1} + P_{n+1} &= \frac{a^{1-\xi(n-1)}}{(ab)^{\left[\frac{n-1}{2}\right]}} \left(\frac{\alpha^{n-1} - \beta^{n-1}}{\alpha - \beta} \right) + \frac{a^{1-\xi(n+1)}}{(ab)^{\left[\frac{n+1}{2}\right]}} \left(\frac{\alpha^{n+1} - \beta^{n+1}}{\alpha - \beta} \right) \\ &= \frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\left[\frac{n-1}{2}\right]}} \frac{1}{\alpha - \beta} \left[\alpha^n \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\alpha}{ab} \right) - \beta^n \left(\frac{1}{\beta} + \frac{\beta}{ab} \right) \right] \\ &= \frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\left[\frac{n-1}{2}\right]}} \frac{1}{\alpha - \beta} \left[\alpha^{n-1} \left(\frac{\alpha^2 - \alpha\beta}{ab} \right) - \beta^{n-1} \left(\frac{\beta^2 - \alpha\beta}{ab} \right) \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n-1}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} \left[\alpha^n \left(\frac{\alpha - \beta}{ab} \right) - \beta^n \left(\frac{\beta - \alpha}{ab} \right) \right] \\
 &= \frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^n + \beta^n) = Q_n
 \end{aligned}$$

Theorem 2.1 Let n be any positive integer, the following equality is satisfied:

$$P_{3n} = P_n Q_{2n} + (-1)^n P_n$$

Proof: By the Binet formula of P_n and Q_n , we get

$$P_n Q_{2n} = \left(\frac{a^{1-\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \cdot \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right) \frac{a^{\xi(2n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{2n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{2n} + \beta^{2n}).$$

By taking advantage of the identity $a^{1-\xi(n)} a^{\xi(2n)} = a^{\xi(n+1)}$ we rearranged the numerator and denominator

$$P_n Q_{2n} = \frac{a^{\xi(n+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor + \lfloor \frac{2n+1}{2} \rfloor}} \cdot \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{3n} - \beta^{3n} + \alpha^n \beta^{2n} - \alpha^{2n} \beta^n).$$

If the common factor $\alpha^n \beta^n$ is factored out from the last two terms, we get

$$P_n Q_{2n} = \frac{a^{\xi(n+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \cdot \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{3n} - \beta^{3n} - \alpha^n \beta^n (\alpha^n - \beta^n))$$

By Lemma 2.1, we get

$$P_n Q_{2n} = \frac{a^{\xi(n+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{3n} - \beta^{3n}}{\alpha - \beta} - \frac{a^{\xi(n+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} (-ab)^n \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}.$$

When the necessary simplifications are made,

$$\begin{aligned}
 P_n Q_{2n} &= \frac{a^{\xi(3n+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{3n} - \beta^{3n}}{\alpha - \beta} - (-1)^n \frac{a^{\xi(n+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \\
 &= P_{3n} - (-1)^n P_n
 \end{aligned}$$

If we put $a = b = 1$ into Theorem 2.1 we obtain the following formula for the classical Pell sequence:

$$p_{3n} = p_n q_{2n} + (-1)^n p_n.$$

Theorem 2.2 Let $n \in \mathbb{N}$, the following equality holds:

$$P_{3n} = \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(n)} P_{2n} Q_n - (-1)^n P_n$$

Proof: By the Binet formula of P_n and Q_n , we have

$$\begin{aligned} P_{2n} Q_n &= \left(\frac{a^{1-\xi(2n)}}{(ab)^n}\right) \left(\frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}}\right) (\alpha^n + \beta^n) \left(\frac{\alpha^{2n} - \beta^{2n}}{\alpha - \beta}\right) \\ &= \frac{a^{1+\xi(n)}}{(ab)^{n+\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{3n} - \beta^{3n} + \alpha^{2n} \beta^n - \alpha^n \beta^{2n}) \end{aligned}$$

If n is odd, then it is obtained that

$$\begin{aligned} P_{2n} Q_n &= \frac{a^2}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor + 1}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{3n} - \beta^{3n} + \alpha^n \beta^n (\alpha^n - \beta^n)) \\ &= \frac{a}{b} \frac{ab}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor + 1}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{3n} - \beta^{3n} + (-ab)^n (\alpha^n - \beta^n)) \\ &= \frac{a}{b} \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{3n} - \beta^{3n}}{\alpha - \beta} + \frac{a}{b} \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor - n}} (-1)^n \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}\right) \\ &= \frac{a}{b} \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{3n} - \beta^{3n}}{\alpha - \beta} + \frac{a}{b} (-1)^n \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}\right) \\ &= \frac{a}{b} P_{3n} + \frac{a}{b} (-1)^n P_n \end{aligned}$$

If n is even, then it is obtained that

$$\begin{aligned} P_{2n} Q_n &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{3n} - \beta^{3n} - \alpha^n \beta^n (\alpha^n - \beta^n)) \\ &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{3n} - \beta^{3n} - (-ab)^n (\alpha^n - \beta^n)) \\ &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{3n} - \beta^{3n}}{\alpha - \beta} - \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor - n}} (-1)^n \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}\right) \\ &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{3n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{3n} - \beta^{3n}}{\alpha - \beta} - (-1)^n \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta}\right) \\ &= P_{3n} - (-1)^n P_n \end{aligned}$$

In both cases, when the results are rearranged, we obtain

$$P_{3n} = \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(n)} P_{2n} Q_n - (-1)^n P_n$$

In Theorem 2.2, when $a = b = 1$, we obtain the following:

$$p_{3n} = p_{2n}q_n + (-1)^n p_n.$$

Theorem 2.3 For any $n \in \mathbb{N}$, the following relations are valid for the bi-periodic Pell and the bi-periodic Pell-Lucas sequence.

$$i. P_{4n+1} - 1 = \frac{b}{a} Q_{2n+1} P_{2n}$$

$$ii. P_{4n+3} - 1 = \frac{b}{a} Q_{2n+1} P_{2n+2}$$

Proof: By the Binet formulas of the bi-periodic Pell and the bi-periodic Pell-Lucas sequence, we have

$$\begin{aligned} Q_{2n+1} P_{2n} &= \left(\frac{a^{\xi(2n+1)}}{(ab)^{\lfloor \frac{2n+2}{2} \rfloor}} (\alpha^{2n+1} + \beta^{2n+1}) \right) \left(\frac{a^{1-\xi(2n)} \alpha^{2n} - \beta^{2n}}{(ab)^{\lfloor \frac{2n}{2} \rfloor} \alpha - \beta} \right) \\ &= \frac{a^2}{(ab)^{2n+1}} \left(\frac{\alpha^{4n+1} - \beta^{4n+1} - \alpha^{2n+1} \beta^{2n} + \beta^{2n+1} \alpha^{2n}}{\alpha - \beta} \right) \\ &= \frac{a^2}{(ab)^{2n+1}} \left(\frac{\alpha^{4n+1} - \beta^{4n+1} - \alpha^{2n} \beta^{2n} (\alpha - \beta)}{\alpha - \beta} \right) \\ &= \frac{a}{b} \left[\frac{1}{(ab)^{2n}} \frac{\alpha^{4n+1} - \beta^{4n+1}}{\alpha - \beta} \right] - \frac{a}{b} \frac{1}{(ab)^{2n}} (-ab)^{2n} \\ &= \frac{a}{b} \left[\frac{a^{1-\xi(4n+1)} \alpha^{4n+1} - \beta^{4n+1}}{(ab)^{\lfloor \frac{4n+1}{2} \rfloor} \alpha - \beta} \right] - \frac{a}{b} \\ &= \frac{a}{b} (P_{4n+1} - 1). \end{aligned}$$

The verification of (ii) follows the same lines as (i).

In Theorem 2.3, when $a = b = 1$, we obtain the following results:

$$q_{4n+1} - 1 = q_{2n+1} p_{2n},$$

$$q_{4n+3} - 1 = q_{2n+1} p_{2n+2}.$$

Theorem 2.4. For any integers n , we have the following property

$$(\alpha - \beta)^2 P_{2n+3} P_{2n-3} = Q_{4n} + Q_6$$

Proof: By the Binet formulas of P_n , we get

$$P_{2n+3} P_{2n-3} = \left(\frac{a^{1-\xi(2n+3)} \alpha^{2n+3} - \beta^{2n+3}}{(ab)^{\lfloor \frac{2n+3}{2} \rfloor} \alpha - \beta} \right) \left(\frac{a^{1-\xi(2n-3)} \alpha^{2n-3} - \beta^{2n-3}}{(ab)^{\lfloor \frac{2n-3}{2} \rfloor} \alpha - \beta} \right)$$

$$= \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{2n+3}{2} \rfloor + \lfloor \frac{2n-3}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{4n} + \beta^{4n} - \alpha^{2n-3} \beta^{2n-3} (\alpha^6 + \beta^6)}{(\alpha - \beta)^2}$$

Multiplying both sides by $(\alpha - \beta)^2$ yields the following expression:

$$\begin{aligned} (\alpha - \beta)^2 P_{2n+3} P_{2n-3} &= \frac{\alpha^{4n} + \beta^{4n} - (-ab)^{2n-3} (\alpha^6 + \beta^6)}{(ab)^{2n}} \\ &= \frac{a^{\xi(4n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{4n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{4n} + \beta^{4n}) + \frac{a^{\xi(6)}}{(ab)^{\lfloor \frac{6+1}{2} \rfloor}} (\alpha^6 + \beta^6) \\ &= Q_{4n} - (-1)^{2n-3} Q_6 \end{aligned}$$

Therefore, the desired result is obtained. In Theorem 2.4, when $a = b = 1$, we obtain the following results:

$$8p_{2n+3}p_{2n-3} = q_{4n} + q_6.$$

Theorem 2.5 For any integers m and n , we have

$$P_{2m+n} = \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_{m+n} + (-1)^m P_n$$

Proof: For the proof we use the Binet formula for the bi-periodic Pell and the bi-periodic Pell-Lucas sequences

$$\begin{aligned} P_m Q_{m+n} &= \left(\frac{a^{1-\xi(m)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}}\right) \left(\frac{a^{\xi(m+n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}}\right) (\alpha^{m+n} + \beta^{m+n}) \left(\frac{\alpha^m - \beta^m}{\alpha - \beta}\right) \\ &= \frac{a^{1-\xi(m)+\xi(m+n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n} + \alpha^m \beta^{m+n} - \alpha^{m+n} \beta^m}{\alpha - \beta}. \end{aligned}$$

If both m and n are even, $m+n$ is even as well and hence we have

$$\begin{aligned} P_m Q_{m+n} &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n} - \alpha^m \beta^m (\alpha^n - \beta^n)}{\alpha - \beta} \\ &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n}}{\alpha - \beta} - (-1)^m \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \\ &= P_{2m+n} - (-1)^m P_n. \end{aligned}$$

If m and n are both odd, $m+n$ is even and hence we have

$$P_m Q_{m+n} = \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n} + \alpha^m \beta^{m+n} - \alpha^{m+n} \beta^m}{\alpha - \beta}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n}}{\alpha - \beta} - (-1)^m \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor - m}} \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right) \\
 &= P_{2m+n} - (-1)^m P_n.
 \end{aligned}$$

If m is odd and n is even, then $m+n$ is odd. Hence, we have

$$\begin{aligned}
 P_m Q_{m+n} &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n} + \alpha^m \beta^{m+n} - \alpha^{m+n} \beta^m) \\
 &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n} - \alpha^m \beta^m (\alpha^n - \beta^n)) \\
 &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n}}{\alpha - \beta} - \frac{(-1)^m a}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor - m}} \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right) \\
 &= P_{2m+n} - (-1)^m P_n.
 \end{aligned}$$

Lastly, if m is even and n is odd, then $m+n$ is odd. Hence, we have

$$\begin{aligned}
 P_m Q_{m+n} &= \frac{a^2}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor + 1}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n} + \alpha^m \beta^{m+n} - \alpha^{m+n} \beta^m}{\alpha - \beta} \\
 &= \frac{a}{b} \frac{ab}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor + 1}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n} - \alpha^m \beta^m (\alpha^n - \beta^n)}{\alpha - \beta} \\
 &= \frac{a}{b} \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{2m+n} - \beta^{2m+n}}{\alpha - \beta} - \frac{a}{b} (-1)^m \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{2m+n}{2} \rfloor - m}} \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right) \\
 &= \frac{a}{b} P_{2m+n} - \frac{a}{b} (-1)^m P_n.
 \end{aligned}$$

Combining the above results with the parity function yields

$$P_{2m+n} = \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_{m+n} + (-1)^m P_n.$$

By setting $a = b = 1$ in the Theorem 2.5, we obtain the following identity for the classical Pell and Pell-Lucas sequences.

$$p_{2m+n} = p_m q_{m+n} + (-1)^m p_n$$

Theorem 2.6 For any integers n , the following result is obtained

$$2P_{2n+1} = \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(n)} P_{n+1} Q_{n+2} - b P_{n+2} Q_n + (-1)^n (ab - 1)$$

Proof: For the proof we use the Binet formula for P_n and Q_n

$$\left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(n)} P_{n+1} Q_{n+2} = \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(n)} \left(\frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{n+1} - \beta^{n+1}}{\alpha - \beta} \right) \left(\frac{a^{\xi(n+2)} (\alpha^{n+2} + \beta^{n+2})}{(ab)^{\lfloor \frac{n+3}{2} \rfloor}} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(n)} \left(\frac{a^{2\xi(n)} \alpha^{2n+3} - \beta^{2n+3} - (\alpha\beta)^{n+1}(\alpha - \beta)}{(ab)^{2\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor + 1} (\alpha - \beta)} \right) \\
 &= \left(\frac{(ab)^{\xi(n)} \alpha^{2n+3} - \beta^{2n+3}}{(ab)^{n+1+\xi(n)} (\alpha - \beta)} \right) - \frac{(ab)^{n+1}(\alpha - \beta)}{(ab)^{n+1}} \\
 &= P_{2n+3} - (-1)^{n+1}
 \end{aligned}$$

And similarly for the second term, we get

$$\begin{aligned}
 2bP_{n+2}Q_n &= 2b \left(\frac{a^{1-\xi(n+2)} \alpha^{n+2} - \beta^{n+2}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+2}{2} \rfloor} (\alpha - \beta)} \right) \left(a^{\xi(n)} \frac{\alpha^n + \beta^n}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} \right) \\
 &= 2 \left(\frac{ab}{(ab)^{n+1}} \frac{\alpha^{2n+2} - \beta^{2n+2} + (\alpha\beta)^n(\alpha^2 - \beta^2)}{\alpha - \beta} \right) \\
 &= 2b \left(\frac{a^{1-\xi(2n+2)} \alpha^{2n+2} - \beta^{2n+2}}{(ab)^{n+1} (\alpha - \beta)} \right) + \frac{2(-ab)^n ab(\alpha + \beta)}{(ab)^{n+1}} \\
 &= 2bP_{2n+2} + 2(-1)^n ab
 \end{aligned}$$

Therefore, we obtain

$$\begin{aligned}
 &\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(n)} P_{n+1}Q_{n+2} - 2bP_{n+2}Q_n + (-1)^n(2ab - 1) \\
 &= P_{2n+3} - (-1)^{n+1} - bP_{2n+2} - (-1)^n ab + (-1)^n(2ab - 1) \\
 &= P_{2n+3} - 2bP_{2n+2} \\
 &= P_{2n+1}
 \end{aligned}$$

Taking $a = b = 1$ in the Theorem 2.6, we obtain the following identity

$$p_{2n+1} = p_{n+1}q_{n+2} - 2p_{n+2}q_n.$$

Theorem 2.7 For any integers m, n , the following result is obtained

$$P_{mn} = \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(n)\xi(m)} Q_m P_{m(n-1)} - (-1)^m P_{m(n-2)}.$$

Proof: The following feature will be used in the proof:

$$\xi(n)\xi(m) = \left\lfloor \frac{m+n}{2} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor - \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor.$$

By the Binet formulas for P_n and Q_n , we get

$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(n)\xi(m)} Q_m P_{m(n-1)} + P_{m(n-2)} = \\
 & \frac{a^{-\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor - \lfloor \frac{m(n-1)-1}{2} \rfloor} b^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor - \lfloor \frac{n}{2} \rfloor - \lfloor \frac{m}{2} \rfloor - \lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor - \lfloor \frac{m(n-1)}{2} \rfloor}}{\alpha - \beta} (\alpha^m + \beta^m)(\alpha^{m(n-1)} - \beta^{m(n-1)}) \\
 & + (-1)^{m+1} \frac{a^{-\lfloor \frac{m(n-2)-1}{2} \rfloor} b^{-\lfloor \frac{m(n-2)}{2} \rfloor}}{\alpha - \beta} (\alpha^{m(n-2)} - \beta^{m(n-2)}) \\
 & = \frac{1}{a^{\lfloor \frac{mn-1}{2} \rfloor} b^{\lfloor \frac{mn}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{mn} - \beta^{mn}}{\alpha - \beta} \\
 & + \frac{1}{a^{\lfloor \frac{mn-1}{2} \rfloor} b^{\lfloor \frac{mn}{2} \rfloor}} \frac{(-\alpha^m \beta^{m(n-1)} + \alpha^{m(n-1)} \beta^m - (-2)^m (ab)^m (\alpha^{m(n-2)} - \beta^{m(n-2)}))}{\alpha - \beta} \\
 & = \frac{1}{a^{\lfloor \frac{mn-1}{2} \rfloor} b^{\lfloor \frac{mn}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{mn} - \beta^{mn}}{\alpha - \beta} \\
 & = P_{mn}
 \end{aligned}$$

Taking $a = b = 1$ in Theorem 2.7, we obtain the following identity

$$p_{mn} = p_{m(n-1)} - (-1)^m p_{m(n-2)}.$$

3. CONCLUSION

In this paper, we investigated the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences and obtained several new identities and relations involving these generalized sequences. By using the Binet representations, we derived various connections between the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences. The obtained results extend several well-known identities of the classical Pell and Pell-Lucas sequences to the bi-periodic case. Among these results, the obtained mixed identities provide new connections between the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences, extending previously known relations in the literature.

The parity-dependent structure of these sequences provides a more general framework than the classical second-order recurrences and allows the construction of new relationships between generalized integer sequences. In particular, the identities established in this study demonstrate that many classical properties remain valid under suitable modifications for bi-periodic sequences.

The results presented here may be useful for further investigations on generalized recurrence sequences. Future studies may focus on matrix representations, combinatorial interpretations, generating functions, and possible applications of bi-periodic sequences in related areas such as number theory and discrete mathematics. These identities may also provide a basis for deriving further results involving matrix formulations, determinant representations, and other generalized recurrence sequences.

REFERENCES

- [1] Horadam, A. F. (1971). Pell identities. *The Fibonacci Quarterly*, 9(3), 245–252.
- [2] Bicknell, M. (1975). A primer on the Pell sequence and related sequence. *The Fibonacci Quarterly*, 13(4), 345–349. <https://doi.org/10.1080/00150517.1975.12430627>
- [3] Horadam, A. F., Mahon, J. M. (1985). Pell and Pell-Lucas polynomials. *The Fibonacci Quarterly*, 23(1), 7–20. <https://doi.org/10.1080/00150517.1985.12429849>
- [4] Koshy, T. (2014). *Pell and Pell-Lucas numbers with applications*. Springer.
- [5] Edson, M., & Yayenie, O. (2009). A new generalization of Fibonacci sequences and the extended Binet's formula. *INTEGERS: Electronic Journal of Combinatorial Number Theory*, 9, 639–654. <https://doi.org/10.1515/INTEG.2009.051>
- [6] Yayenie, O. (2011). A note on generalized Fibonacci sequence. *Applied Mathematics and Computation*, 217, 5603–5611. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2010.12.038>
- [7] Yayenie, O. (2012). A note on generalized Fibonacci sequence. *Southeast Asian Bulletin of Mathematics*, 36, 739–752.
- [8] Bilgici, G. (2014). Two generalizations of Lucas sequence. *Applied Mathematics and Computation*, 245, 526–538. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2014.07.111>
- [9] Uygun, S., Owusu, E. (2016). A new generalization of Jacobsthal numbers (Bi-periodic Jacobsthal sequences). *Journal of Mathematical Analysis*, 7(5), 28–39. <https://doi.org/10.9734/JAMCS/2019/V34I530226>.
- [10] Tan, E. (2017). Some properties of the bi-periodic Horadam sequences. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 23(4), 56–65.
- [11] Uygun, S., Karataş, H., Akıncı, E. (2018). Relations on bi-periodic Jacobsthal sequence. *Turkish Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 10(2), 141–151.
- [12] Uygun, S., Karatas, H. (2019). A new generalization of Pell-Lucas numbers (Bi-periodic Pell-Lucas sequence). *Communications in Mathematics and Applications*, 10(3), 1–12. <https://doi.org/10.26713/cma.v10i3.1106>
- [13] Uygun, S., Owusu, E. (2019). A new generalization of Jacobsthal Lucas numbers (Bi-periodic Jacobsthal Lucas sequence). *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 34(5), 1–13.
- [14] Choo, Y. (2020). Relations between generalized bi-periodic Fibonacci and Lucas sequences. *Mathematics*, 8, 1527. <https://doi.org/10.3390/math8091527>
- [15] Uygun, S. (2021). The relations between bi-periodic Jacobsthal and bi-periodic Jacobsthal Lucas sequence. *Cumhuriyet Science Journal*, 42(2), 346–357.
- [16]
- [17] Tan, E., Leung, H. (2020). Some basic properties of the generalized bi-periodic Fibonacci and Lucas sequences. *Advances in Difference Equations*, 2020, 26, 1–11.
- [18] Uygun, S. (2022). Some sum formulas and new identities of bi-periodic Jacobsthal and bi-periodic Jacobsthal Lucas sequence. *Turkish Journal of Mathematics and Mathematical Sciences*, 14(2), 189–198.
- [19] Kuloğlu, B., Cui, E., Özkan, E., & Peters, J. F. (2024). A note on bivariate bi-periodic Mersenne polynomials. *Proof*, 4.

ALGEBRAIC PROPERTIES AND GENERALIZED PRODUCT IDENTITIES OF BI-PERIODIC PELL-TYPE RECURRENCE SEQUENCES

Doç. Dr. Sukran UYGUN

Gaziantep Üniversitesi

suygun@gantep.edu.tr - 0000-0002-7878-2175

Abdullah REMMO

Gaziantep Üniversitesi

remmo1453@gmail.com - 0000-0001-6924-9902

ABSTRACT

Bi-periodic integer sequences have attracted significant interest in recent literature due to their recursive structures that alternate based on the parity of the indices. In this paper, we establish several novel algebraic identities and recurrence properties for the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences. By leveraging their respective generating functions and the extended Binet formulas, we derive explicit interrelationships between these two fundamental sequences. Furthermore, we present new multi-index identities, product formulas, and generalization frameworks that bridge the bi-periodic models with classical Pell and Pell-Lucas sequences. The obtained results not only extend existing theorems in the literature but also provide deeper insights into the structural behavior of parity-dependent second-order recurrence relations.

Keywords: Pell sequence, Pell-Lucas sequence, Binet formula, bi-periodic sequences

1. INTRODUCTION

Integer recurrence sequences have long occupied a central position in number theory, discrete mathematics, and combinatorial analysis due to their rich algebraic structures and elegant analytical properties. The classical Fibonacci and Lucas sequences, along with their numerous generalizations, serve as fundamental tools in modeling various phenomena across diverse scientific disciplines. Among these, the Pell and Pell-Lucas sequences—governed by the second-order recurrence relation $p_{n+2} = 2p_{n+1} + p_n$ —have attracted significant academic interest. Their profound connections to Diophantine equations, continued fractions, approximation theory, and graph networks have established them as a cornerstone of modern recurrence sequence research. In recent years, the classical framework of these sequences has been substantially expanded through the introduction of periodic and conditional parameters. A prominent advancement in this direction is the concept of bi-periodic recurrence relations, pioneered by Edson and Yayenie, who generalized the Fibonacci sequence by introducing two alternating parameters into the recurrence coefficients. This parity-dependent modification successfully captures structural variations that classical homogeneous sequences fail to accommodate. Following this trajectory, Bilgici introduced the bi-periodic Lucas sequence, while subsequent researchers extended these generalizations to various other integer families,

such as the bi-periodic Horadam, Padovan, and Jacobsthal sequences. These studies have collectively demonstrated that the introduction of bi-periodicity preserves the core algebraic elegance of the sequences, such as the existence of Binet-like formulas and generating functions, while significantly expanding their functional flexibility. Despite the growing body of literature on generalized Pell-type sequences, the interconnected structural properties and mixed algebraic behaviors between bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences have not yet been fully explored. Most existing works focus predominantly on the isolated traits of a single sequence family. To bridge this gap, this paper establishes a comprehensive set of new identities and mixed relations that explicitly map the algebraic interactions between these two bi-periodic families. By utilizing their respective Binet representations, we demonstrate how the underlying parity-dependent structure dictates the convergence and factorization of these recurrence terms. Furthermore, the newly established mixed identities and product formulations presented herein do not only enrich the structural theory of bi-periodic sequences but also provide crucial analytical tools for solving non-homogeneous difference equations. The generalized formulations derived throughout this study inherently contain the classical Pell and Pell-Lucas identities as special cases when the periodic parameters coincide. Consequently, the results provided in this framework offer a broader and more unified perspective for the study of generalized linear recurrence relations in discrete mathematics. To the best of our knowledge, this generalized product identity has not been previously reported in the literature.

Unlike classical second-order recurrence sequences with constant coefficients, bi-periodic sequences allow alternating recurrence parameters depending on the parity of the index. This structure provides a natural generalization of classical sequences and leads to new identities that cannot be obtained directly from the standard recurrence relations.

Yayenie investigated several properties of the bi-periodic Fibonacci sequence in [1-3]. Bilgici [4] introduced the bi-periodic Lucas sequence and established several properties of this sequence, as well as its relationship with the bi-periodic Fibonacci sequence. In [5,6], several identities for generalized bi-periodic Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas sequences are established. Tan found defined the bi-periodic Horadam sequences and found some properties of them in [7]. In [8], Choo investigated new relations between generalized bi-periodic Fibonacci and Lucas sequences. The authors used the concept of bi-periodic for bivariate Mersenne polynomials in [9].

Pell sequence is defined by the recurrence relation $p_{n+2} = 2p_{n+1} + p_n$ with the starting values $p_0 = 0$ and $p_1 = 1$ for $n \in \mathbb{N}$. Similarly, Pell-Lucas sequence is defined by the recurrence relation $q_{n+2} = 2q_{n+1} + q_n$ with $q_0 = 2$ and $q_1 = 2$ for $n \in \mathbb{N}$ [10-11]. Owing to the importance of special integer sequences, several generalizations have been introduced through modified recurrence relations and parameter-dependent formulations. There have been a number of generalizations on some of the various types of special integer sequences.

2. PRELIMINARIES

Definition 2.1 [12] For any natural number n and nonzero real numbers a and b , the bi-periodic Pell sequence $\{P_n\}_{n=0}^{\infty}$ is defined recursively by $P_0 = 0, P_1 = 1, P_n = \begin{cases} 2aP_{n-1} + P_{n-2}, & n \text{ is even} \\ 2bP_{n-1} + P_{n-2}, & n \text{ is odd} \end{cases} \quad (n \geq 2)$ (1)

Definition 2.2 [13] Let n be a natural number. For any nonzero real numbers a and b , the generalized bi-periodic Pell-Lucas sequence $\{Q_n\}_{n=0}^{\infty}$ is defined recursively by

$$Q_0 = 2, Q_1 = 2a, Q_n = \begin{cases} 2bQ_{n-1} + Q_{n-2}, & n \text{ is even} \\ 2aQ_{n-1} + Q_{n-2}, & n \text{ is odd} \end{cases} \quad (n \geq 2) \quad (2)$$

Setting $a = b = 1$ yields the classic Pell and Pell-Lucas sequence. In this paper, we study numerous new properties of these sequences. The second order characteristic equation of the bi-periodic Pell sequence is $x^2 - 2abx - ab = 0$. The roots are given in the following

$$\alpha = ab + \sqrt{ab(ab+1)}, \quad \beta = ab - \sqrt{ab(ab+1)}.$$

The generating function for bi-periodic Pell sequence is expressed as $P(x) = \frac{x+2ax^2-x^3}{1-(4ab+2)x^2+x^4}$.

For each natural number n , the Binet formula for the bi-periodic Pell sequence takes the form

$$P_n = \frac{a^{1-\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \left(\frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right). \quad (3)$$

In this paper, $[x]$ denotes the floor function defined as $[x] = \max\{n \in \mathbb{Z} \mid n \leq x\}$, and $\xi(n) = n - \lfloor \frac{n}{2} \rfloor$ represents the parity function of n .

Furthermore, the generating function for bi-periodic Pell-Lucas sequence is expressed as

$Q(x) = \frac{2+2ax-(4ab+2)x^2+2ax^3}{1-(4ab+2)x^2+x^4}$. For all $n \in \mathbb{N}$, the Binet formula for the bi-periodic Pell sequence

takes the form:

$$Q_n = \frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^n + \beta^n) \quad (4)$$

Lemma 2.1 α and β satisfy the following properties:

- $(2\alpha + 1)(2\beta + 1) = 1$,
- $\alpha + \beta = 2ab, \alpha\beta = -ab$,
- $2\alpha + 1 = \frac{\alpha^2}{ab}, 2\beta + 1 = \frac{\beta^2}{ab}$,
- $-(2\alpha + 1)\beta = \alpha, -(2\beta + 1)\alpha = \beta$

Lemma 2.2 The bi-periodic Pell sequence satisfies the following properties:

$$\begin{aligned} P_{2n} &= (4ab + 2)P_{2n-2} - P_{2n-4}, \\ P_{2n+1} &= (4ab + 2)P_{2n-1} - P_{2n-3}. \end{aligned}$$

Lemma 2.3 The bi-periodic Pell-Lucas sequence satisfies the following properties:

$$\begin{aligned} Q_{2n} &= (4ab + 2)Q_{2n-2} - Q_{2n-4}, \\ Q_{2n+1} &= (4ab + 2)Q_{2n-1} - Q_{2n-3}. \end{aligned}$$

Lemma 2.4 The following relation is used between the bi-periodic Pell sequence and the bi-periodic Pell-Lucas sequence

$$\begin{aligned} Q_n &= P_{n-1} + P_{n+1} \\ 4(ab + 1)P_n &= Q_{n-1} + Q_{n+1} \end{aligned}$$

3. ALGEBRAIC IDENTITIES FOR BI-PERIODIC PELL AND PELL-LUCAS SEQUENCES

In this section, we establish a comprehensive set of novel identities and intertwined relations for both bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences. The underlying algebraic proofs are systematically derived utilizing their respective Binet formulas and the parity-dependent

structural properties inherent in these recurrence families. This section should explain the methods used in this paper.

Theorem 3.1. For any integers $m, n \geq 2$, we have the following identity

$$P_m P_n - P_{m-2} P_{n-2} = 2a^{1-\xi(mn)} b^{\xi(mn)} P_{m+n-2}.$$

Proof: By the Binet formulas for the bi-periodic Pell and the bi-periodic Pell-Lucas sequences P_n ve Q_n , we get

$$P_m P_n = \frac{a^{2-\xi(m)-\xi(n)} [\alpha^{m+n} + \beta^{m+n} - (\alpha^n \beta^m + \alpha^m \beta^n)]}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor} (\alpha - \beta)^2}$$

and

$$P_{m-2} P_{n-2} = \frac{a^{2-\xi(m)-\xi(n)} (ab)^2 [\alpha^{m+n-4} + \beta^{m+n-4} - (\alpha\beta)^{-2} (\alpha^n \beta^m + \alpha^m \beta^n)]}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor} (\alpha - \beta)^2}.$$

By subtracting these equations, we have

$$\begin{aligned} P_m P_n - P_{m-2} P_{n-2} &= \frac{a^{2-\xi(m)-\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor} (\alpha - \beta)^2} \left[\alpha^{m+n} \left(1 - \frac{(ab)^2}{\alpha^4} \right) + \beta^{m+n} \left(1 - \frac{(ab)^2}{\beta^4} \right) \right. \\ &\quad \left. - (\alpha^n \beta^m + \alpha^m \beta^n) \left(1 - \frac{(ab)^2}{(\alpha\beta)^2} \right) \right]. \end{aligned}$$

Using the following relations,

$$\alpha\beta = -ab \quad \text{and} \quad \xi(m) + \xi(n) - \xi(mn) = \xi(m+n)$$

we have

$$\begin{aligned} P_m P_n - P_{m-2} P_{n-2} &= \frac{a^{2-\xi(mn)-\xi(m+n)} (\alpha + \beta)}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor} (\alpha - \beta)} (\alpha^{m+n-2} - \beta^{m+n-2}) \\ &= 2 \frac{a^{2-\xi(mn)-\xi(m+n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor - 1} (\alpha - \beta)} (\alpha^{m+n-2} - \beta^{m+n-2}) \\ &= 2a^{1-\xi(mn)} \frac{a^{1-\xi(m+n-2)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n-2}{2} \rfloor} (\alpha - \beta)} (\alpha^{m+n-2} - \beta^{m+n-2}) \\ &= 2a^{1-\xi(mn)} b^{\xi(mn)} \frac{a^{1-\xi(m+n-2)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n-2}{2} \rfloor} (\alpha - \beta)} (\alpha^{m+n-2} - \beta^{m+n-2}) \\ &= 2a^{1-\xi(mn)} b^{\xi(mn)} P_{m+n-2} \end{aligned}$$

If we put $a = b = 1$ into Theorem 3.1, we obtain the following formulas for the classical Pell and Pell-Lucas sequences:

$$p_m p_n - p_{m-2} p_{n-2} = 2p_{m+n-2}.$$

Theorem 3.2 For any integers m and n we have

$$2Q_{m+n} = (\alpha - \beta)^2 \left(\frac{1}{a^2}\right)^{\xi(m+1)\xi(n+1)} \left(\frac{1}{ab}\right)^{1-\xi(m+1)\xi(n+1)} P_m P_n + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n)} Q_m Q_n.$$

Proof: By the Binet formulas for the bi-periodic Pell and the bi-periodic Pell-Lucas sequences P_n ve Q_n , we get

$$Q_{m+n} = \frac{a^{\xi(m+n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \beta^{m+n}),$$

and

$$\begin{aligned} P_m P_n &= \left(\frac{a^{1-\xi(m)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^m - \beta^m}{\alpha - \beta} \right) \left(\frac{a^{1-\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} \right) \\ &= \frac{a^{2-[\xi(m)+\xi(n)]}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor}} \frac{1}{(\alpha - \beta)^2} (\alpha^{m+n} - \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}), \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} Q_m Q_n &= \left(\frac{a^{\xi(m)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor}} (\alpha^m + \beta^m) \right) \left(\frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^n + \beta^n) \right) \\ &= \frac{a^{\xi(m)+\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n + \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}). \end{aligned}$$

Four cases are examined depending on whether m and n are odd or even.

If m and n are even, then $m+n$ is also even. Therefore,

$$\begin{aligned} Q_{m+n} &= \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \beta^{m+n}) \\ \frac{(\alpha - \beta)^2}{a^2} P_m P_n &= \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} - \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \\ Q_m Q_n &= \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n + \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \end{aligned}$$

By these equations, we get

$$\frac{(\alpha - \beta)^2}{a^2} P_m P_n + Q_m Q_n = \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (2\alpha^{m+n} + 2\beta^{m+n}) = 2Q_{m+n}$$

If m and n are odd, then $m+n$ is even. Therefore,

$$Q_{m+n} = \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \beta^{m+n})$$

$$\frac{(\alpha - \beta)^2}{ab} P_m P_n = \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + 1}} (\alpha^{m+n} - \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n})$$

$$\frac{b}{a} Q_m Q_n = \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n + \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n})$$

By adding these equations,

$$\frac{(\alpha - \beta)^2}{ab} P_m P_n + \frac{b}{a} Q_m Q_n = \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (2\alpha^{m+n} + 2\beta^{m+n}) = 2Q_{m+n}$$

One of m, n is odd the other is even, then $m + n$ is odd, so

$$Q_{m+n} = \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \beta^{m+n})$$

$$\begin{aligned} \frac{(\alpha - \beta)^2}{ab} P_m P_n &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n}{2} \rfloor + 1}} (\alpha^{m+n} - \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \\ &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} - \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_m Q_n &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n + \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \\ &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n + \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \end{aligned}$$

By these equations, we obtain

$$\begin{aligned} \frac{(\alpha - \beta)^2}{ab} P_m P_n + Q_m Q_n &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} \{ (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n + \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \} \\ &\quad \{ + (\alpha^{m+n} - \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m + \beta^{m+n}) \} \\ &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n+1}{2} \rfloor}} (2\alpha^{m+n} + 2\beta^{m+n}) \\ &= 2Q_{m+n}. \end{aligned}$$

If we put $a = b = 1$ into Theorem 3.2, we obtain the following formulas for the classical Pell and Pell-Lucas sequences:

$$8p_m p_n + q_m q_n = 2q_{m+n}.$$

Theorem 3.3 Assume $m, n \in \mathbb{Z}$, then the following equality is satisfied

$$2P_{m+n} = \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m.$$

Proof: By the Binet formulas for the bi-periodic Pell and the bi-periodic Pell-Lucas sequences P_n ve Q_n , we get

$$\begin{aligned} P_m Q_n &= \left(\frac{a^{1-\xi(m)} \alpha^m - \beta^m}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor} \alpha - \beta} \right) \left(\frac{a^{\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} (\alpha^n + \beta^n) \right) \\ &= \frac{a^{1-\xi(m)+\xi(n)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m - \beta^{m+n}). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n Q_m &= \left(\frac{a^{1-\xi(n)} \alpha^n - \beta^n}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \alpha - \beta} \right) \left(\frac{a^{\xi(m)}}{(ab)^{\lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor}} (\alpha^m + \beta^m) \right) \\ &= \frac{a^{1-\xi(n)+\xi(m)}}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor + \lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^n \beta^m - \alpha^m \beta^n - \beta^{m+n}). \end{aligned}$$

Four cases are examined depending on whether m and n are odd or even.

If m and n are even, then $m+n$ is also even. Therefore,

$$\begin{aligned} P_{m+n} &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{m+n} - \beta^{m+n}}{\alpha - \beta}. \\ \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m - \beta^{m+n}). \\ \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^n \beta^m - \alpha^m \beta^n - \beta^{m+n}) \end{aligned}$$

Therefore,

$$\begin{aligned} \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{2\alpha^{m+n} - 2\beta^{m+n}}{\alpha - \beta} \\ &= 2P_{m+n} \end{aligned}$$

If m and n are even, then $m+n$ is also even. Therefore,

$$P_{m+n} = \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{m+n} - \beta^{m+n}}{\alpha - \beta},$$

$$\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n = \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor - 1}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m - \beta^{m+n})$$

$$\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m = \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^n \beta^m - \alpha^m \beta^n - \beta^{m+n})$$

By these three equations we get the following result

$$\begin{aligned} \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m &= \frac{a}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{2\alpha^{m+n} - 2\beta^{m+n}}{\alpha - \beta} \\ &= 2P_{m+n} \end{aligned}$$

If m is even and n is odd, then $m+n$ is odd. Therefore,

$$P_{m+n} = \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{m+n} - \beta^{m+n}}{\alpha - \beta}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n &= \frac{b}{a} \frac{a^2}{(ab)^{\lfloor \frac{m}{2} \rfloor + \lfloor \frac{n+1}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m - \beta^{m+n}) \\ &= \frac{1}{(ab)^{\frac{m+n-1}{2}}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m - \beta^{m+n}) \end{aligned}$$

and

$$\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m = \frac{1}{(ab)^{\frac{m+n-1}{2}}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^n \beta^m - \alpha^m \beta^n - \beta^{m+n})$$

By these equations, we have

$$\begin{aligned} \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m &= 2 \left(\frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{m+n} - \beta^{m+n}}{\alpha - \beta} \right) \\ &= 2P_{m+n}. \end{aligned}$$

If m is odd and n is even, then $m+n$ is odd. Hence,

$$\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n = \frac{1}{(ab)^{\frac{m+n-1}{2}}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^m \beta^n - \alpha^n \beta^m - \beta^{m+n})$$

and

$$\begin{aligned} \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m &= \frac{b}{a} \frac{a^2}{(ab)^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor + \lfloor \frac{m+1}{2} \rfloor}} \frac{1}{\alpha - \beta} (\alpha^{m+n} + \alpha^n \beta^m - \alpha^m \beta^n - \beta^{m+n}) \\ &= \frac{1}{(ab)^{\frac{m+n-1}{2}}} \frac{1}{\alpha - \beta} [\alpha^{m+n} + \alpha^n \beta^m - \alpha^m \beta^n - \beta^{m+n}] \end{aligned}$$

By adding these two equalities together, we have

$$\begin{aligned} \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m &= \frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{2\alpha^{m+n} - 2\beta^{m+n}}{\alpha - \beta} \\ &= 2 \left(\frac{1}{(ab)^{\lfloor \frac{m+n}{2} \rfloor}} \frac{\alpha^{m+n} - \beta^{m+n}}{\alpha - \beta} \right) \\ &= 2P_{m+n} \end{aligned}$$

If $a = b = 1$ is taken in Theorems 3.3 the following result is obtained regarding the classical Pell and Pell-Lucas number sequences:

$$p_{m+n} = 2^{-1} (p_m q_n + p_n q_m).$$

Corollary 3.1 For $\forall m, n \in \mathbb{Z}$, it is satisfied that

$$P_{m-n} = 2^{-1} (-1)^n \left[\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n - \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m \right]$$

Proof: If we substitute $-n$ for n in Theorem 3.3 and use Lemma 2.5, we obtain the following equation:

$$\begin{aligned} P_{m-n} &= 2^{-1} \left[\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(-n)} P_m (-1)^n Q_n + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(-n+1)} (-1)^{n+1} P_n Q_m \right] \\ &= 2^{-1} (-1)^n \left[\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+1)\xi(n)} P_m Q_n - \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n+1)} P_n Q_m \right]. \end{aligned}$$

Corollary 3.2 For $\forall m, n \in \mathbb{Z}$, it yields

$$\begin{aligned} Q_{m-n} &= 2^{-1} (-1)^n \left[\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m)\xi(n)} Q_m Q_n \right. \\ &\quad \left. - (4a^2 b^2 + 4ab) \left(\frac{1}{a^2}\right)^{\xi(m+1)\xi(n+1)} \left(\frac{1}{ab}\right)^{1-\xi(m+1)\xi(n+1)} P_m P_n \right] \end{aligned}$$

Proof: If we substitute $-n$ for n in Theorem 3.2 and use Lemma 2.5, the desired result is obtained.

If $a = b = 1$ is chosen in Corollary 3.1 and Corollary 3.2, the following identities relating to the classical Pell and Pell-Lucas sequences are obtained:

$$\begin{aligned} q_{m-n} &= 2^{-1}(-1)^n(q_m q_n - 8p_m p_n), \\ p_{m-n} &= 2^{-1}(-1)^n(p_m q_n - p_n q_m). \end{aligned}$$

Corollary 3.3 For $n \in \mathbb{Z}$, the following equations hold:

$$Q_{2n} = 2^{-1} \left[(a^2 b^2 + 8ab) \left(\frac{1}{a^2} \right)^{\xi(n+1)} \left(\frac{1}{ab} \right)^{\xi(n)} P_n^2 + \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(n)} Q_n^2 \right]$$

and

$$P_{2n} = P_n Q_n.$$

Proof: In Theorems 3.2 and 3.3 if $m = n$ is chosen, the given equalities are obtained directly.

Corollary 3.4 For any positive integers n , it is obtained that

$$P_{n+1} = 2^{-1} Q_n + a \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(n+1)} P_n,$$

and

$$Q_{n+1} = 2(ab + 1)P_n + \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(n+1)} Q_n$$

Proof: If $m = 1$ is chosen for Theorems 3.2 and 3.3, the given equations are obtained directly.

Theorem 3.4 For any positive integers $m, n \in \mathbb{Z}$, the following equality holds

$$Q_{2m} Q_{2n} = a^{-2\xi(m+n+1)} (ab)^{-\xi(m+n)} (\alpha - \beta)^2 P_{m+n}^2 + \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(m+n)} Q_{m-n}^2$$

or

$$Q_{2m} Q_{2n} = a^{-2\xi(m+n+1)} (ab)^{-\xi(m+n)} (\alpha - \beta)^2 P_{m-n}^2 + \left(\frac{b}{a} \right)^{\xi(m+n)} Q_{m+n}^2$$

Proof: From the Binet formulas for the bi-periodic Pell and the bi-periodic Pell-Lucas sequences P_n , Q_n , and the property $2 \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor = n - \xi(n)$, we get

$$\begin{aligned} & a^{-2\xi(m+n+1)} (ab)^{-\xi(m+n)} (\alpha - \beta)^2 P_{m+n}^2 \\ &= a^{-2\xi(m+n+1)} (ab)^{-\xi(m+n)} \frac{a^{2\xi(m+n+1)}}{(ab)^{m+n-\xi(m+n)}} (\alpha^{m+n} - \beta^{m+n})^2 \end{aligned}$$

$$= \frac{\alpha^{2m+2n} + \beta^{2m+2n} - 2(\alpha\beta)^{m+n}}{(ab)^{m+n}}$$

and for bi-periodic Pell-Lucas sequences, we have

$$\begin{aligned} \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+n)} Q_{m-n}^2 &= \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+n)} \frac{a^{2\xi(m-n)}}{(ab)^{m-n+1-\xi(m-n+1)}} (\alpha^{m-n} + \beta^{m-n})^2 \\ &= \frac{(\alpha^{m-n} + \beta^{m-n})^2}{a^{m-n+1-\xi(m-n+1)+\xi(m+n)-2\xi(m-n)} b^{m-n+1-\xi(m-n+1)-\xi(m+n)}} \end{aligned}$$

It is known that $m - n + 1 - \xi(m - n + 1) + \xi(m + n) - 2\xi(m - n) = m - n$, so it is obtained that

$$\left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+n)} Q_{m-n}^2 = \frac{\alpha^{2m-2n} + \beta^{2m-2n} + 2(\alpha\beta)^{m-n}}{(ab)^{m-n}}$$

If the equalities are added together, it yields

$$\begin{aligned} &a^{-2\xi(m+n+1)} (ab)^{-\xi(m+n)} (\alpha - \beta)^2 P_{m+n}^2 + \left(\frac{b}{a}\right)^{\xi(m+n)} Q_{m-n}^2 \\ &= \frac{\alpha^{2m+2n} + \beta^{2m+2n} - 2(\alpha\beta)^{m+n}}{(ab)^{m+n}} + \frac{\alpha^{2m-2n} + \beta^{2m-2n} + 2(\alpha\beta)^{m-n}}{(ab)^{m-n}} \\ &= \frac{\alpha^{2m+2n} + \beta^{2m+2n} - 2(\alpha\beta)^{m+n} + (ab)^{2n} (\alpha^{2m-2n} + \beta^{2m-2n} + 2(\alpha\beta)^{m-n})}{(ab)^{m+n}} \\ &= \frac{\alpha^{2m+2n} + \beta^{2m+2n} - 2(\alpha\beta)^{m+n} + (-\alpha\beta)^{2n} \alpha^{2m-2n} + (-\alpha\beta)^{2n} \beta^{2m-2n} + 2(-\alpha\beta)^{2n} (\alpha\beta)^{m-n}}{(ab)^{m+n}} \\ &= \frac{\alpha^{2m+2n} + \beta^{2m+2n} + \alpha^{2m} \beta^{2n} + \alpha^{2n} \beta^{2m} - 2(\alpha\beta)^{m+n} + 2(\alpha\beta)^{m+n}}{(ab)^{m+n}} \\ &= Q_{2m} Q_{2n}. \end{aligned}$$

If $a = b = 1$ is taken in Theorem 3.4, the following results are obtained regarding the classical Pell and Pell-Lucas number sequences:

$$q_{2m} q_{2n} = 8p_{m+n}^2 + q_{m-n}^2$$

or

$$q_{2m} q_{2n} = 8p_{m-n}^2 + q_{m+n}^2$$

4. CONCLUSION

In this study, we have successfully established a comprehensive set of novel identities, generalized summation formulas, and mixed relations governing the bi-periodic Pell and bi-periodic Pell-Lucas sequences. By exploiting their respective Binet-like analytical

representations and parity-dependent recurrence behaviors, we have mapped the explicit algebraic interactions between these two generalized integer families. The structural properties derived throughout this framework inherently generalize the well-known classical Pell and Pell-Lucas identities, which emerge naturally as special cases when the alternating periodic parameters coincide ($a = b = 2$). Beyond their immediate algebraic elegance, the newly introduced mixed identities and product formulations provide crucial analytical frameworks that can facilitate the explicit determination of solutions for non-homogeneous difference equations. Furthermore, these relations offer potential shortcuts in simplifying reduction formulas for specific classes of generalized hypergeometric functions associated with orthogonal polynomials in discrete mathematics. As a direction for future research, the algebraic techniques and structural invariants developed in this paper can be extended to higher-order bi-periodic recurrence relations, such as third-order or fourth-order Pell-type sequences. Additionally, exploring the matrix representations and combinatorial interpretations of these mixed product formulas could yield further insights into their applications in computational number theory and algebraic coding theory.

REFERENCES

- [1] Edson, M., & Yayenie, O. (2009). A new generalization of Fibonacci sequences and the extended Binet's formula. *INTEGERS: Electronic Journal of Combinatorial Number Theory*, 9, 639–654. <https://doi.org/10.1515/INTEG.2009.051>.
- [2] Yayenie, O. (2011). A note on generalized Fibonacci sequence. *Applied Mathematics and Computation*, 217, 5603–5611. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2010.12.038>.
- [3] Yayenie, O. (2012). A note on generalized Fibonacci sequence. *Southeast Asian Bulletin of Mathematics*, 36, 739–752.
- [4] Bilgici, G. (2014). Two generalizations of Lucas sequence. *Applied Mathematics and Computation*, 245, 526–538.
- [5] Uygun, S., & Owusu, E. (2016). A new generalization of Jacobsthal numbers (Bi-periodic Jacobsthal sequences). *Journal of Mathematical Analysis*, 7(5), 28–39.
- [6] S. Uygun, E. Owusu, A New Generalization of Jacobsthal Numbers (Bi-Periodic Jacobsthal Sequences), *Journal of Mathematical Analysis* 7(5) (2016) 28-39.
- [7] Uygun, S., Owusu, E. (2019). A new generalization of Jacobsthal Lucas numbers (Bi-periodic Jacobsthal Lucas sequence). *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 34(5), 1–13..
- [8] Tan, E. (2017). Some properties of the bi-periodic Horadam sequences. *Notes on Number Theory and Discrete Mathematics*, 23(4), 56–65. Y. Choo, Relations between Generalized Bi-Periodic Fibonacci and Lucas Sequences, *Mathematics* (2020) 1527.
- [9] Kuloğlu, B., Cui, E., Özkan, E., & Peters, J. F. (2024). A note on bivariate bi-periodic Mersenne polynomials. *Proof*, 4. A. F. Horadam, Pell identities. *The Fibonacci Quarterly*, 9(3) (1971) 245–252.
- [10] Koshy, T. (2014). *Pell and Pell-Lucas numbers with applications*. Springer.
- [11] Uygun, Ş., Karataş, H. (2020). Bi-periodic Pell sequence. *Academic Journal of Applied Mathematical Sciences*, 6(7), 136–144.
- [12] Uygun, S., Karatas, H. (2019). A new generalization of Pell-Lucas numbers (Bi-periodic Pell-Lucas sequence). *Communications in Mathematics and Applications*, 10(3), 1–12. <https://doi.org/10.26713/cma.v10i3.1106>

BINARY VISUAL ENTAILMENT STUDY USING A VISUAL LANGUAGE MODEL (VLM) AND VISUAL QUESTION ANSWERING (VQA) PAIR

Asst. Prof. Dr., Alican DOĞAN

Bandırma Onyedi Eylül University/Department of Management Information Systems,
alicandogan@bandirma.edu.tr - 0000-0002-0553-2888

Master's Student, Zeynep ÖZER

Bandırma Onyedi Eylül University/Department of Management Information Systems,
zeynepozerr1675@gmail.com - 0009-0001-9383-229X

ABSTRACT

Visual entailment studies are important in these days. Accepting or refuting a hypothesis based on the image is a complicated task. In this study, a visual entailment task is performed on challenging crowded images using COREVQA (Crowd Observations and Reasoning Entailment) dataset. It is a benchmark of 5608 image and synthetically generated true/false statement pairs, with images derived from the CrowdHuman dataset. The images are matched with different labels as sentences which describes the events and surrounding for the matched image. It is designed as a visual language binary classification problem which provokes the prediction of correct and uncorrect label-image matching. As a visual language model (VLM), CLIP (Contrastive Language Image Pretraining) architecture is used and fine-tuned on the COREVQA dataset. The proposed framework jointly learns visual and textual representations and evaluates the semantic correspondence between image-text pairs. Through transfer learning and task-specific optimization, the model is adapted to the visual entailment domain and trained to distinguish correct and incorrect image-description associations. Experimental results demonstrate that the fine-tuned CLIP model achieves an accuracy of 92% on the COREVQA dataset. The obtained performance indicates that the proposed approach effectively captures complex semantic relationships between crowded-scene images and textual descriptions. The findings further suggest that fine-tuned vision-language models can provide robust solutions for visual entailment and visual question answering tasks involving challenging real-world scenarios. The proposed framework contributes to the growing body of research on multimodal reasoning and highlights the effectiveness of transfer learning strategies in visual-language understanding problems.

Keywords: Visual question answering, Visual language model, CLIP, Visual entailment.

1. INTRODUCTION

Recent advances in Vision Language Models (VLMs), including systems such as GPT and Gemini, have significantly improved the ability of artificial intelligence to jointly interpret visual and textual information and perform a wide range of multimodal tasks (Ishmam et al., 2024). As these models

continue to evolve and demonstrate increasingly sophisticated reasoning capabilities, the development of comprehensive evaluation frameworks has become essential. In particular, benchmark datasets and assessment methodologies capable of measuring both visual perception and semantic language understanding are crucial for accurately evaluating the performance of modern VLMs.

Previous research has revealed that many Visual Question Answering (VQA) models are heavily influenced by superficial statistical relationships between questions and answers rather than by the visual content itself (Chen et al., 2026). This phenomenon, commonly referred to as language prior bias, causes models to rely on frequently occurring answer patterns instead of performing genuine visual reasoning. Consequently, conventional VQA systems often generate the most probable answer for a particular question type regardless of the information contained in the associated image.

Although numerous methods have been proposed to reduce this bias, existing approaches still exhibit important limitations. General-purpose architectures, such as UpDn, as well as bias-mitigation models including LMH and SSL, typically produce predictions based on a single highest-confidence output without explicitly verifying whether the predicted answer is semantically consistent with the visual evidence (Han et al., 2025). Furthermore, these methods do not fully exploit the semantic information embedded in candidate answers, limiting their ability to effectively mitigate language prior bias and improve multimodal reasoning performance.

A variety of benchmark datasets have been developed to evaluate the performance of Visual Question Answering (VQA) systems. Among them, VQAv2, introduced as an enhanced version of the original VQA dataset, has become one of the most widely adopted benchmarks by providing a more balanced and challenging evaluation framework. Despite their widespread use, conventional VQA datasets, including OK-VQA and TextVQA, often fail to adequately capture the complexity of real-world multimodal reasoning tasks. To address these limitations, several recent benchmarks have been proposed, such as MMTBench, VCR, MM-Vet, SEEDBench, and NaturalBench, all of which are designed to assess different aspects of visual understanding, reasoning, recognition, and question answering. More comprehensive evaluation suites, including MMBench, MMMU, MMStar, and M3GIA, have further broadened the range of multimodal tasks considered during evaluation. However, these benchmarks primarily emphasize task diversity and standardized model comparison rather than improving the quality and rigor of the evaluation process (Fu et al., 2024). Furthermore, because many existing VLM benchmarks rely on multiple-choice question formats, concerns remain regarding their ability to accurately measure genuine reasoning capabilities and model robustness (Lowande and Sevil, 2023). To overcome these shortcomings, specialized benchmarks such as NTSEBENCH, VLDBENCH, and HallusionBench have been introduced to evaluate specific visual reasoning skills and expose critical weaknesses of modern vision-language models.

Despite the considerable progress achieved by existing VQA approaches, several important limitations remain. General-purpose architectures, including UpDn and LXMERT, as well as methods specifically developed to mitigate language prior bias, such as LMH and SSL, still exhibit a common shortcoming. These models typically generate predictions by selecting the single most confident answer without explicitly verifying whether the predicted response is genuinely supported by the visual evidence. Furthermore, they make limited use of the semantic information contained in candidate answers, despite the fact that such information could improve multimodal reasoning and help reduce the influence of language prior bias.

2. RELATED WORK

Several benchmark datasets have been introduced to evaluate visual entailment, including SNLI-VE, Defeasible Visual Entailment, and VALSE. These benchmarks are specifically designed to assess a model's ability to determine whether textual statements are semantically supported by the corresponding visual content. In parallel, a number of datasets have focused on challenging crowd-scene analysis, such as NWPU-Crowd, JHU-CROWD++, PANDA, and GCC. Unlike the multiple-choice evaluation paradigm adopted by many existing vision-language benchmarks), the true/false formulation minimizes potential biases introduced by predefined answer options, requiring models to directly determine whether a statement is consistent with the visual evidence (Cao et al., 2023). Furthermore, by combining crowded-scene images with synthetically generated textual descriptions, such datasets simultaneously evaluate visual entailment and language understanding under more realistic and semantically demanding conditions than many conventional benchmarks, which often rely on relatively simple visual scenes.

To mitigate the influence of language prior bias in Visual Question Answering (VQA), numerous approaches have been proposed in the literature. These methods can generally be classified into two main categories. The first category focuses on bias-aware model design, where specialized architectures are developed to reduce the impact of statistical biases learned from question-answer pairs (Jiang et al., 2025). Many of these methods adopt ensemble-based learning strategies. Among them, LMH explicitly suppresses language bias by penalizing predictions that can be inferred solely from textual information without considering the associated image.

The second category addresses the problem through data augmentation and dataset balancing. Instead of modifying the model architecture, these methods attempt to reduce language priors by constructing more balanced training data (Dang et al., 2026). For example, SSL automatically generates balanced image-question pairs and incorporates an auxiliary self-supervised learning objective to improve visual grounding. Similarly, CSS enriches the training data by creating complementary samples through object masking in images or keyword masking in questions, while CL further exploits the relationships between original and complementary samples to strengthen model learning. In contrast, MUTANT utilizes additional object-level annotations to identify visually important objects and semantically significant words, enabling more accurate alignment between textual concepts and image content (Chang et al., 2025).

Although these methods have demonstrated improved robustness against language priors, they primarily concentrate on modeling interactions between images and questions while paying limited attention to the semantic information contained in candidate answers. As a result, valuable contextual cues available in the answer space remain underutilized, suggesting that incorporating answer semantics into multimodal reasoning frameworks could further enhance VQA performance.

Answer re-ranking has attracted considerable attention in open-domain Question Answering (QA), although its application to the Visual Question Answering (VQA) task remains relatively limited. In open-domain QA, re-ranking strategies are commonly implemented using a two-stage framework in which a set of candidate answers is first retrieved from a large collection of knowledge sources, followed by a ranking process that identifies the most appropriate response (Wang et al., 2018a, 2018b; Kratzwald et al., 2019). Inspired by this paradigm, RankVQA (Qiao et al., 2020) extends answer re-ranking to the VQA domain by introducing an auxiliary ranking mechanism that evaluates candidate answers according to their semantic consistency with both the input image and automatically generated image captions. Despite improving the alignment between visual and textual information, RankVQA ultimately selects the final prediction from the entire answer space rather than making a decision exclusively among the re-ranked

candidate answers, leaving room for further improvements in answer selection and multimodal reasoning.

3. METHODOLOGY

3.1. Dataset Description

COREVQA is a recently introduced benchmark for Visual Question Answering (VQA) that is specifically designed to assess the ability of Vision Language Models (VLMs) to perform detailed visual analysis and complex visual reasoning. The dataset consists of image-statement pairs formulated as true/false classification tasks, where the textual descriptions are intentionally constructed to appear plausible. Correctly determining whether a statement is supported by the corresponding image requires accurate visual grounding and multi-step semantic reasoning, making COREVQA a challenging benchmark for evaluating multimodal understanding capabilities (Chintapala et al., 2025).

COREVQA is designed to evaluate two fundamental aspects of multimodal reasoning: fine-grained visual understanding and visual entailment. The benchmark requires models to determine whether complex textual statements accurately describe the associated images. These statements are intentionally lengthy, averaging approximately 30 words, and include sophisticated linguistic structures that demand comprehensive semantic interpretation. The evaluation focuses on two complementary abilities. First, fine-grained visual inspection measures a model's capacity to recognize subtle visual cues, including objects located in cluttered scenes or peripheral image regions. Second, complex visual entailment assesses higher-level reasoning skills, such as interpreting spatial relationships, understanding contextual interactions, drawing logical inferences, and distinguishing correct descriptions from plausible but misleading statements (<https://archive.ics.uci.edu/dataset/1198/corevqa>, Last Access Date: 22.06.2026).

The benchmark contains 5,608 unique image-text pairs derived from the CrowdHuman dataset (Shao et al., 2018), which includes crowded indoor and outdoor scenes containing multiple individuals. Each image is associated with a single binary (true/false) statement specifically generated to evaluate visual-language consistency. Positive statements were produced using ChatGPT, whereas negative statements were generated with Claude, and all annotations were subsequently verified through manual labeling to ensure the reliability of the ground-truth labels. Table 1 shows the key statistics of the dataset.

Table 1. Overview of the COREVQA Dataset (%)

Property	Value
Size	5608 image statement pairs
# of true statements	1566
# of false statements	4042
Average statement length	30.20 words
Statements with commas	5286

The overall workflow of the proposed methodology is illustrated in Figure 1. Initially, the COREVQA dataset, including the metadata file and CrowdHuman images, is downloaded and prepared for processing. Each image-statement pair is then preprocessed using the CLIP processor to generate corresponding visual and textual representations. These representations are subsequently fed into the fine-tuned CLIP model, which learns the semantic correspondence between images and textual descriptions. Based on the similarity score produced by the model, a sigmoid activation function is applied to estimate the probability of semantic consistency, and a binary decision is generated to determine whether the statement is supported by the associated image. Finally, the predicted labels are compared with the ground-truth annotations to evaluate the overall classification performance in terms of accuracy.

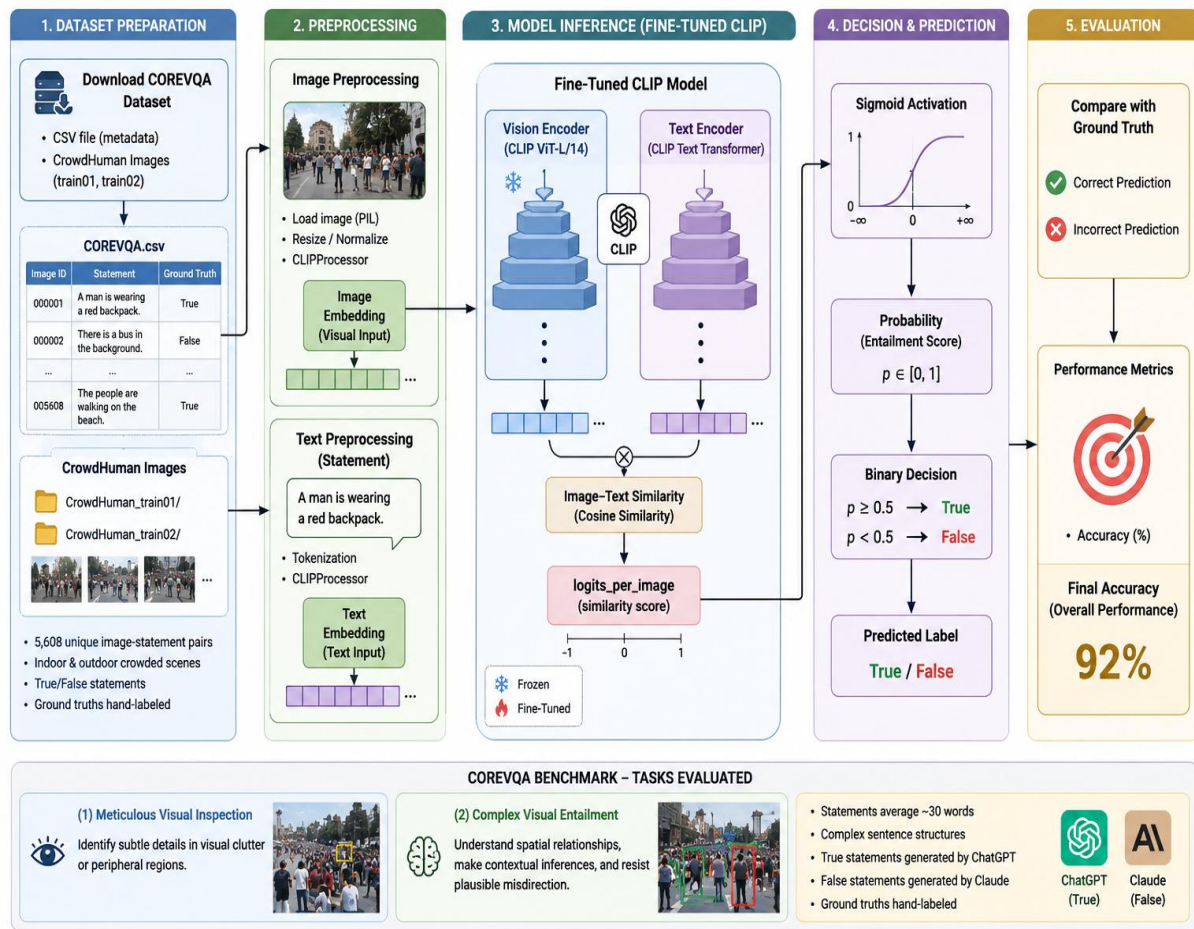


Figure 1. Workflow of the proposed fine-tuned CLIP framework for image-text consistency verification on the COREVQA dataset.

3.2. CLIP (Contrastive Language–Image Pre-training)

Contrastive Language–Image Pre-training (CLIP), proposed by Radford et al. (2021), is a large-scale Vision Language Model (VLM) designed to learn a shared semantic embedding space for images and natural language descriptions through contrastive learning. Unlike conventional image classification models that require predefined class labels, CLIP jointly learns visual and textual representations from approximately 400 million image-text pairs collected from the internet. This large-scale pretraining enables the model to generalize to unseen categories and perform a wide variety of vision-language tasks without requiring task-specific supervision.-

The CLIP architecture consists of two independent encoders. A vision encoder, typically based on either a Vision Transformer (ViT) or a ResNet backbone, extracts a feature representation

from the input image, whereas a Transformer-based text encoder generates a semantic embedding from the corresponding textual description. Let an image be represented as (I) and its associated statement as (T). Their embedding vectors are obtained as

$$\mathbf{v} = f_{\theta}(I)$$

$$\mathbf{t} = g_{\phi}(T)$$

where f_{θ} denotes the image encoder and g_{ϕ} represents the text encoder. Both embeddings are projected into the same latent feature space and normalized to unit length before similarity computation. The semantic relationship between an image and its textual description is quantified using cosine similarity,

$$S(I, T) = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{t}}{\|\mathbf{v}\| \|\mathbf{t}\|}$$

A higher similarity score indicates a stronger semantic correspondence between the visual content and the textual statement. During pretraining, CLIP optimizes a symmetric contrastive objective based on the InfoNCE loss, encouraging matching image-text pairs to be located close together in the shared embedding space while simultaneously separating mismatched pairs. The overall training objective can be expressed as

$$L = \frac{L_{\text{image}} + L_{\text{text}}}{2}$$

$$L_{\text{image}} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \left(\frac{\exp(S_{ii}/\tau)}{\sum_{j=1}^N \exp(S_{ij}/\tau)} \right)$$

$$L_{\text{text}} = -\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \log \left(\frac{\exp(S_{ii}/\tau)}{\sum_{j=1}^N \exp(S_{ji}/\tau)} \right)$$

where both loss components are computed using cross-entropy over the similarity matrix generated from a batch of image-text pairs. This contrastive optimization allows CLIP to learn highly discriminative multimodal representations without requiring manually annotated class labels.

The effectiveness of CLIP has led to its widespread adoption in numerous multimodal applications, including image retrieval, image captioning, cross-modal search, visual grounding, visual question answering (VQA), and visual entailment. Compared with traditional VQA architectures that generally learn task-specific classifiers, CLIP directly measures semantic consistency between visual and textual modalities through a shared embedding space. Consequently, it is considerably less dependent on predefined answer vocabularies and exhibits stronger generalization to previously unseen image-text combinations.

In this study, the CLIP ViT-B/32 architecture was adopted as the backbone of the proposed framework because the COREVQA benchmark fundamentally requires determining whether a textual statement is semantically supported by the corresponding image. Rather than predicting

one answer from a fixed set of candidate responses, the problem is formulated as an image-text consistency verification task. Accordingly, the pretrained CLIP model was fine-tuned on the COREVQA dataset using transfer learning to better capture the semantic characteristics of crowded scenes and complex visual relationships. During inference, each image-statement pair is encoded by the vision and text encoders, respectively, and their similarity score is computed. The similarity score is subsequently transformed into a probability through a sigmoid activation function,

$$P(y = 1 | I, T) = \sigma(S(I, T)) = \frac{1}{1 + e^{-S(I, T)}}$$

where $(P(y=1|I,T))$ denotes the probability that the textual statement correctly describes the image. A binary prediction is finally obtained according to

$$\hat{y} = \begin{cases} 1, & P(y = 1 | I, T) \geq 0.5 \\ 0, & P(y = 1 | I, T) < 0.5 \end{cases}$$

This formulation enables the proposed framework to directly model semantic alignment between images and textual descriptions, making CLIP particularly suitable for visual entailment benchmarks such as COREVQA, where accurate multimodal reasoning and fine-grained visual understanding are essential for distinguishing true statements from plausible but incorrect descriptions. Figure 2 reveals the visualization of transaction steps of CLIP method.

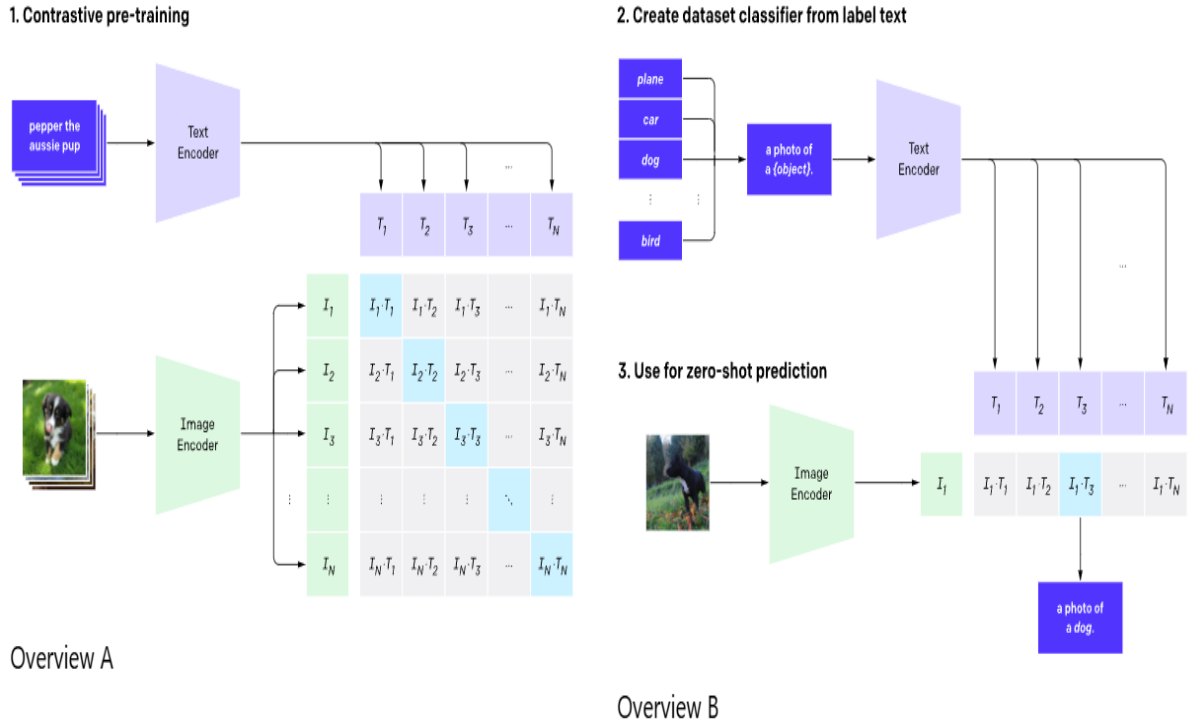


Figure 2. CLIP approach illustration

4. EXPERIMENTAL RESULTS AND EVALUATION

The performance of the proposed fine-tuned CLIP framework was evaluated on the COREVQA benchmark using several widely adopted binary classification metrics. As summarized in Table 2, the proposed model achieved an overall classification accuracy of 92.00%, demonstrating its effectiveness in determining the semantic consistency between crowded-scene images and textual descriptions. In addition to high accuracy, the model obtained a precision of 91.74%, a

recall of 92.38%, and an F1-score of 92.06%, indicating a well-balanced classification performance without favoring either class.

The receiver operating characteristic analysis further confirmed the robustness of the proposed framework, yielding an AUC-ROC score of 0.958. Furthermore, the obtained Matthews Correlation Coefficient (0.840) and Cohen's Kappa (0.839) indicate a strong agreement between the predicted and ground-truth labels beyond chance. These findings demonstrate that the fine-tuned CLIP model effectively captures semantic relationships between images and statements in the COREVQA dataset.

The confusion matrix presented in Table 3 shows that the model correctly classified 2,577 true and 2,582 false samples while misclassifying only 449 image-text pairs. The relatively balanced distribution of false positives and false negatives suggests that the proposed framework does not exhibit a significant prediction bias toward either class. Overall, the experimental findings confirm that CLIP provides reliable visual-language representations for challenging visual entailment tasks involving crowded scenes.

Table 2 presents the classification performance of the proposed fine-tuned CLIP framework on the COREVQA benchmark. The model achieved an overall accuracy of 92%, demonstrating its capability to effectively distinguish semantically consistent and inconsistent image-text pairs. The obtained performance indicates that CLIP successfully captures the semantic correspondence between visual content and natural language descriptions, making it well suited for visual entailment tasks involving complex crowded scenes.

Table 2. Performance results of the proposed fine-tuned CLIP model on the COREVQA dataset

Metric	Value
Accuracy (%)	92.00
Precision (%)	91.74
Recall (%)	92.38
F1-score (%)	92.06
Specificity (%)	91.61
AUC-ROC	0.958
Matthews Correlation Coefficient (MCC)	0.840
Cohen's Kappa	0.839

Table 3 illustrates the confusion matrix of the proposed model by comparing the predicted labels with the corresponding ground-truth annotations. The results show that the majority of image-text pairs were correctly classified, while only a limited number of false positive and false negative predictions were observed. The relatively balanced distribution of classification errors suggests that the proposed framework does not exhibit a significant bias toward either class, demonstrating consistent performance in recognizing both semantically correct and incorrect textual statements. Overall, the confusion matrix further confirms the robustness and reliability of the proposed CLIP-based visual entailment approach on the COREVQA dataset.

Table 3. Confusion matrix of CLIP model.

	Predicted True	Predicted False
Actual True	2577	213
Actual False	236	2582

The performance comparison presented in Table 4 demonstrates the effectiveness of the proposed fine-tuning strategy on the COREVQA benchmark. While the pretrained zero-shot CLIP model provides competitive performance by leveraging its general vision-language representations, task-specific fine-tuning significantly improves its ability to distinguish semantically consistent and inconsistent image-text pairs. The proposed fine-tuned CLIP model achieves higher Accuracy, Precision, Recall, and F1-score than the zero-shot baseline, indicating that adapting the pretrained model to the characteristics of the COREVQA dataset enhances its capability for fine-grained visual reasoning and image-text semantic alignment. These findings highlight the importance of task-specific optimization for improving the performance of vision-language models on challenging visual entailment tasks involving crowded scenes.

Table 4. Performance comparison between the zero-shot CLIP model and the proposed fine-tuned CLIP model on the COREVQA dataset.

Model	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
CLIP (Zero-shot)	85.73	85.31	86.05	85.68
Fine-tuned CLIP (Proposed)	92.00	91.74	92.38	92.06

REFERENCES

1. Cao, B., Cao, J., Gui, J., Shen, J., Liu, B., He, L., Tang, Y. Y., Kwok, J. T.-Y. AlignVE: Visual Entailment Recognition Based on Alignment Relations, IEEE Transactions on Multimedia, 25:7378-7387, (2023).
2. Chang, Z., Li, M., Wang, J., Li, C., Wang, Q. VEglue: Testing Visual Entailment Systems via Object-Aligned Joint Erasing, ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, 35(1): Article 14, (2025).
3. Chen, J., Lu, W., Lu, J., Zhang, Y., Dong, Z., Yang, B., Peng, Z., Yuan, L. The impacts of input data on visual-language models (VLM) in automated solid waste recognition, Resources, Conservation and Recycling, 231:108905, (2026).
4. Chintapatla, I., Choji, K., Agarwal, N., Lin, A., You, H., Duong, C., Zhu, K., O'Brien, S., Sharma, V. COREVQA: A Crowd Observation and Reasoning Entailment Visual Question Answering Benchmark, arXiv, abs/2507.13405, (2025).
5. Dang, M., Shi, J. W. L., Guo, Y., Cui, H., Yeoh, J. K. W., Li, S. Visual question answering for bridge damage inspection using a multi-modal large language model, Automation in Construction, 190:107125, (2026).

6. Han, Y., Hao, K., Tang, X., Wei, B. Context-Aware Visual Entailment Driven by Specific Instructions, Journal of Donghua University (English Edition), 42(2):177-186, (2025).
7. <https://archive.ics.uci.edu/dataset/1198/corevqa> (Last Access Date: 22.06.2026)
8. Ishmam, M. F., Shovon, M. S. H., Mridha, M. F., Dey, N. From image to language: A critical analysis of Visual Question Answering (VQA) approaches, challenges, and opportunities, Information Fusion, 106:102270, (2024).
9. Jiang, M., Hu, B., Zhang, X.-Y. Metamorphic testing for textual and visual entailment: A unified framework for model evaluation and explanation, Information and Software Technology, 187:107855, (2025).
10. Lowande, R. D. S., Sevil, H. E. Feasibility of Visual Question Answering (VQA) for Post-Disaster Damage Detection Using Aerial Footage, Applied Sciences, 13(8):5079, (2023).

ÇEYREK ARAÇ AKTİF SÜSPANSİYON SİSTEMİNDE PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME İLE SÜRÜŞ KONFORU VE YOL TUTUŞ DENGESİNİN OPTİMİZASYONU

*Optimization of Ride Comfort and Road-Holding Trade-off in a Quarter-Car Active Suspension
System via Reinforcement Learning*

Öğr. Gör. Dr. Emrah KUZU¹

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Salihli Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü
e-posta: emrah.kuzu@cbu.edu.tr • ORCID: 0000-0001-9004-2105

Doç. Dr. Serkan ÇAŞKA²

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği
e-posta: serkan.caska@cbu.edu.tr • ORCID: 0000-0002-2157-8931

Özet

Bu çalışmada, çeyrek araç (2 serbestlik dereceli) aktif süspansiyon sisteminin denetimi için Soft Actor-Critic (SAC) tabanlı bir pekiştirmeli öğrenme yaklaşımı önerilmektedir. Önerilen denetleyicinin başarımı, pasif süspansiyon ve gök-kanca (skyhook) esaslı oransal-integral-türevsel (PID) aktif denetleyici ile dört farklı yol senaryosunda (ISO 8608 C ve D sınıfı rastgele pürüzlülük, tek tümsek ve sinüzoidal rezonans girişi) karşılaştırılmıştır. Adil bir karşılaştırma için her iki aktif denetleyici de konfor öncelikli olacak şekilde yapılandırılmıştır. Benzetim sonuçları, SAC denetleyicisinin gövde ivmesinin karekök ortalama (RMS) değerini pasif sisteme kıyasla %72 ile %91 arasında azalttığını ve tüm senaryolarda PID denetleyicisini geride bıraktığını göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen konfor kazanımı, daha yüksek eyleyici kuvveti ve artan süspansiyon çalışma boşluğu kullanımı biçiminde bir ödünleşme içermektedir. Bulgular, model-bağımsız pekiştirmeli öğrenmenin, klasik kazanç-ayarlı denetleyicilere kıyasla daha yüksek konfor başarımı sağlayabildiğini, ancak eyleyici enerjisi ve mekanik sınırların tasarımda gözetilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aktif süspansiyon, pekiştirmeli öğrenme, Soft Actor-Critic, sürüş konforu, çeyrek araç modeli.

Abstract

This study proposes a Soft Actor-Critic (SAC) based reinforcement learning approach for the control of a two-degree-of-freedom quarter-car active suspension system. The performance of the proposed controller is compared with a passive suspension and a skyhook-based proportional-integral-derivative (PID) active controller across four road scenarios: ISO 8608 class C and D random roughness, a single bump, and a sinusoidal resonance input. For a fair comparison, both active controllers are configured to prioritize ride comfort. Simulation results show that the SAC controller reduces the root-mean-square (RMS) body acceleration by 72% to 91% relative to the passive system and outperforms the PID controller in all scenarios. However, this comfort gain entails a trade-off in the form of higher actuator force and increased

suspension working-space usage. The findings indicate that model-free reinforcement learning can achieve superior comfort performance compared with classical gain-tuned controllers, provided that actuator energy and mechanical constraints are considered in the design.

Keywords: Active suspension, reinforcement learning, Soft Actor-Critic, ride comfort, quarter-car model.

1. Giriş

Taşıt süspansiyon sistemleri, yol kaynaklı titreşimleri yalıtarak sürüş konforunu sağlamak ve aynı zamanda tekerleğin yola temasını koruyarak yol tutuş ve sürüş güvenliğini güvence altına almak gibi birbiriyle çelişen iki temel görevi yerine getirir [1]. Pasif süspansiyon sistemleri, sabit yay ve sönümleyici elemanlarıyla belirli bir çalışma noktası için tasarlandığından, değişken yol ve sürüş koşulları altında bu iki amaç arasında en iyi dengeyi kuramaz. Bu sınırlama, eyleyici aracılığıyla kontrollü kuvvet uygulayabilen aktif ve yarı-aktif süspansiyon sistemlerine olan ilgiyi artırmıştır [1, 3].

Aktif süspansiyon denetimi için literatürde oransal-integral-türevsel (PID) denetim, doğrusal karesel düzenleyici (LQR), kayan kipli denetim (SMC), gök-kanca (skyhook) [3] ve H_∞ denetim [2] gibi klasik yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler, sistem modeline ve uygun biçimde ayarlanmış kazançlara dayanır; ancak doğrusal olmayan etkiler, parametre belirsizlikleri ve geniş bir yol profili yelpazesi karşısında başarımları sınırlı kalabilir. Makine öğrenmesi yöntemleri son yıllarda mühendislik tahmin ve modelleme problemlerinde yüksek başarımlar göstermiş [13]; bu eğilimle birlikte, model-bağımsız (model-free) öğrenme yeteneği sayesinde pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning, RL) yöntemleri, sürekli denetim problemlerinde umut verici bir alternatif olarak öne çıkmıştır [5, 6]. Süspansiyon denetiminde DDPG [10], derin RL tabanlı karşılaştırmalı çalışmalar [9] ve uzman-rehberli kısıtlı RL [11] gibi yaklaşımlar son dönemde incelenmiştir.

Bu çalışmada, çeyrek araç aktif süspansiyon sisteminin denetimi için Soft Actor-Critic (SAC) algoritması [6] temelli bir pekiştirmeli öğrenme denetleyicisi önerilmektedir. SAC, sürekli eylem uzaylarında yüksek örnek verimliliği ve kararlı öğrenme davranışı ile bilinen, entropi düzenlemeli bir aktör-eleştirmen (actor-critic) algoritmasıdır ve aşırı tahmin yanlılığını azaltan TD3 [7] gibi yöntemlerle aynı kuşakta yer alır. Önerilen denetleyicinin başarımları, pasif süspansiyon ve gök-kanca esaslı PID denetleyici ile dört farklı yol senaryosu altında sistematik olarak karşılaştırılmaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, yalnızca konfor kazanımını raporlamakla kalmayıp, bu kazanımın eyleyici kuvveti ve süspansiyon çalışma boşluğu açısından getirdiği ödünleşmeyi de şeffaf biçimde ortaya koymasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çeyrek Araç Modeli

Çalışmada, gövde (yaylanan kütle) ve tekerlek (yaylanmayan kütle) olmak üzere iki serbestlik dereceli klasik çeyrek araç modeli kullanılmıştır. Sistemin hareket denklemleri, gövde kütlesi m_s , tekerlek kütlesi m_u , süspansiyon yay sabiti k_s , süspansiyon sönüm katsayısı c_s , lastik sertliği k_t ve eyleyici kuvveti u cinsinden yazılır. Yol girişi z_r , gövde yer değiştirmesi

z_s ve tekerlek yer değiştirmesi z_u ile gösterilmektedir. Sayısal benzetimde gövde kütlesi 290 kg, tekerlek kütlesi 59 kg, süspansiyon yay sabiti 16.812 N/m, lastik sertliği 190.000 N/m ve sönüm katsayısı 1.000 N·s/m olarak alınmıştır. Gövde ve tekerlek kütlelerinin hareketini yöneten ikinci mertebeden diferansiyel denklemler sırasıyla Denklem (1) ve (2) ile verilir:

$$m_s \ddot{z}_s = -k_s(z_s - z_u) - c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) + u \quad (1)$$

$$m_u \ddot{z}_u = k_s(z_s - z_u) + c_s(\dot{z}_s - \dot{z}_u) - k_t(z_u - z_r) - u \quad (2)$$

Burada nokta zamana göre türevi göstermektedir. Süspansiyon deformasyonu $= z_s - z_u$ olmak üzere, durum vektörü $x = [z_s, \dot{z}_s, z_u, \dot{z}_u]^T$ seçilerek sistem, Denklem (3)'teki birinci mertebeden durum-uzay biçiminde ifade edilebilir:

$$\dot{x} = Ax + Bu + Gz_r \quad (3)$$

Burada A sistem matrisi, B eyleyici giriş vektörü ve G yol giriş vektörüdür. Hareket denklemleri 1 ms adım aralığıyla dördüncü mertebe Runge-Kutta yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Eyleyici kuvveti ± 1.500 N ile, süspansiyon çalışma boşluğu ise ± 80 mm ile sınırlandırılmıştır.

2.2. Yol Senaryoları

Denetleyicilerin başarımı, farklı sürüş koşullarını temsil eden dört yol senaryosu altında değerlendirilmiştir: (i) ISO 8608 [4] C sınıfı rastgele yol pürüzlülüğü (orta düzey bozuk yol), (ii) ISO 8608 D sınıfı rastgele pürüzlülük (yüksek düzey bozuk yol), (iii) yarım-sinüs biçimli tek tümsek (geçici darbe yanıtı) ve (iv) sabit frekanslı sinüzoidal giriş (rezonans davranışının incelenmesi). ISO 8608 standardına göre rastgele yol pürüzlülüğünün yer değiştirme güç spektral yoğunluğu (PSD), uzamsal frekansa bağlı olarak Denklem (4) ile tanımlanır:

$$G_d(n) = G_d(n_0) \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (4)$$

Burada n uzamsal frekans (çevrim/m), $n_0 = 0,1$ çevrim/m referans uzamsal frekans, $G_d(n_0)$ sınıfa bağlı pürüzlülük katsayısı ve $w = 2$ dalgalanma üssüdür. Zaman alanındaki yol profili, bu PSD'nin uygun rastgele faz açılarıyla ters Fourier dönüşümü alınarak ve araç ilerleme hızı ile ölçeklenerek üretilmiştir. SAC ajanı, eğitim sırasında bu senaryoları rastgele görerek genelleme yeteneği kazanacak biçimde eğitilmiştir.

2.3. SAC Tabanlı Pekiştirmeli Öğrenme Denetleyicisi

Denetim problemi bir Markov karar süreci olarak formüle edilmiştir. Durum vektörü; gövde ve tekerlek yer değiştirmeleri ile hızlarını, süspansiyon deformasyonunu ve lastik deformasyonunu içermektedir. Eylem $a \in [-1, 1]$, eyleyici kuvvetinin ölçeklenmiş biçimidir; gerçek kuvvet $u = a \cdot u_{maks}$ ilişkisiyle elde edilir. Her zaman adımında ajana verilen ödül fonksiyonu, konfor öncelikli olacak biçimde gövde ivmesi, lastik deformasyonu, çalışma boşluğu sınır ihlali ve eyleyici enerjisi terimlerinin ağırlıklı toplamı olarak Denklem (5) ile tanımlanmıştır:

$$r = -w_1 \ddot{z}_s^2 - w_2 (z_u - z_r)^2 - w_3 a^2 - w_4 P_{sınır} \quad (5)$$

Burada $w_1, \dots, w_4$ ödül ağırlıkları, $P_{sınır}$ ise süspansiyon çalışma boşluğu sınırının (± 80 mm) aşılması durumunda etkinleşen güvenlik ceza terimidir. Konfor önceliği, w_1 ağırlığının baskın seçilmesiyle sağlanmıştır. SAC, beklenen ödülün yanı sıra politika entropisini de ödüllendiren, entropi-düzenlemeli (maksimum entropi) bir aktör-eleştirmen algoritmasıdır. Optimal politika π^* , Denklem (6)'daki hedef fonksiyonunu enbüyükleyecek biçimde öğrenilir:

$$\pi^* = \arg \max_{\pi} \sum_t E_{\pi}[r(s_t, a_t) + \alpha H(\pi(\cdot | s_t)))] \quad (6)$$

Burada $r(s_t, a_t)$ Denklem (5)'teki ödül, $H(\pi)$ politikanın entropisi ve α keşif ile sömürü dengesini ayarlayan sıcaklık katsayısıdır. Aktör ve eleştirmen ağırları, her biri 256 nörondan oluşan iki gizli katmanlı çok katmanlı algılayıcılar olarak yapılandırılmış; ajan toplam 300.000 zaman adımı boyunca eğitilmiştir. Uygulama Stable-Baselines3 kütüphanesi [8] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.4. Karşılaştırma Temeli

Önerilen yöntem iki temel ile karşılaştırılmıştır. Birincisi, eyleyici kuvvetinin sıfır olduğu pasif süspansiyon sistemidir. İkincisi, gövde mutlak hızını sönümlemeye dayanan gök-kanca (skyhook) [3] esaslı bir PID denetleyicidir. Adil bir karşılaştırma sağlamak amacıyla, PID denetleyici de konfor öncelikli olacak biçimde ayarlanmış; böylece her iki aktif denetleyici de aynı amaç doğrultusunda değerlendirilmiştir. Temel başarımlar ölçütü olan bir x sinyalinin karekök ortalama (RMS) değeri, N örnek sayısı için Denklem (7) ile hesaplanır:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (7)$$

Konfor iyileşmesi ise, aktif denetleyicinin gövde ivmesi RMS değerinin pasif sisteme göre yüzdesel azalması olarak Denklem (8) ile tanımlanmıştır:

$$\text{İyileşme (\%)} = \left(1 - \frac{\ddot{z}_{sRMS,aktif}}{\ddot{z}_{sRMS,pasif}}\right) \times 100 \quad (8)$$

Bu çerçevede başarımlar ölçütleri olarak gövde ivmesinin RMS değeri (konfor), maksimum süspansiyon deformasyonu (çalışma boşluğu), lastik deformasyonunun RMS değeri (yol tutuş) ve eyleyici kuvvetinin RMS değeri (enerji maliyeti) kullanılmıştır.

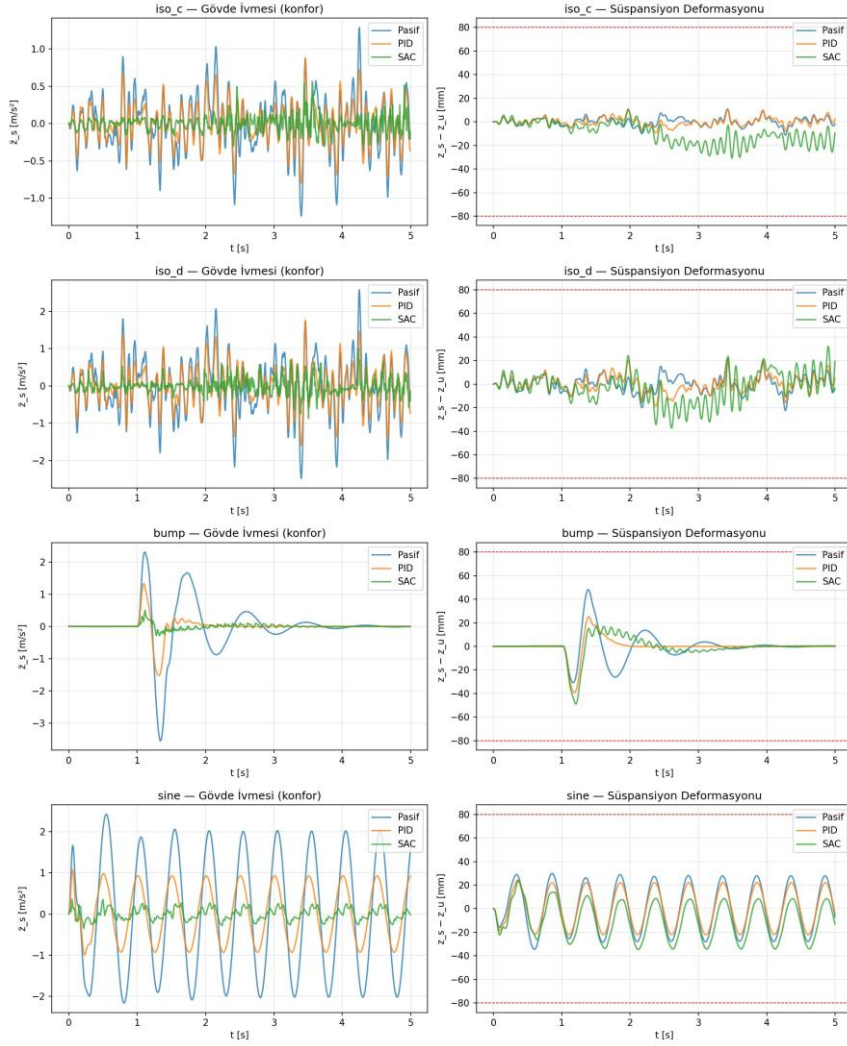
3. Bulgular ve Tartışma

Dört yol senaryosu için pasif, PID ve SAC denetleyicilerine ait başarımlar ölçütleri Tablo 1'de sunulmaktadır. SAC denetleyicisi, pasif sisteme kıyasla gövde ivmesinin RMS değerini ISO 8608-C senaryosunda %72,1, ISO 8608-D senaryosunda %73,8, tümsek senaryosunda %90,7 ve sinüzoidal senaryoda %90,1 oranında azaltmıştır. Aynı senaryolarda PID denetleyicisinin sağladığı iyileşmeler sırasıyla %28,7, %28,7, %62,2 ve %54,1 düzeyinde kalmıştır. Buna göre, SAC denetleyicisi tüm senaryolarda konfor açısından PID denetleyicisini belirgin biçimde geride bırakmıştır.

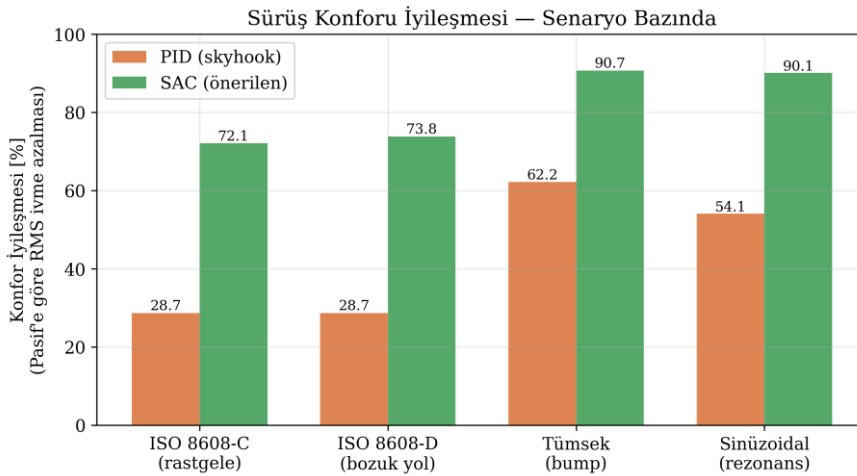
Tablo 1. Dört yol senaryosu için kontrolcü karşılaştırması. Konfor iyileşmesi pasif sisteme göredir.

Senaryo	Kontrolcü	RMS ivme [m/s ²]	Konfor iyileşme [%]	Maks. süsp. defl. [mm]	RMS lastik defl. [mm]	RMS kuvvet [N]
ISO 8608-C	Pasif	0,379	0,0	11,2	1,62	0
	PID	0,270	28,7	10,7	1,87	54
	SAC	0,106	72,1	30,8	3,87	298
ISO 8608-D	Pasif	0,758	0,0	22,4	3,24	0
	PID	0,541	28,7	21,3	3,73	109
	SAC	0,198	73,8	37,3	7,08	420
Tümsek	Pasif	0,763	0,0	48,2	1,14	0
	PID	0,289	62,2	39,1	0,61	108
	SAC	0,071	90,7	48,9	1,19	174
Sinüzoidal	Pasif	1,426	0,0	34,5	1,90	0
	PID	0,655	54,1	24,3	1,21	200
	SAC	0,142	90,1	34,6	1,08	344

Şekil 1, dört senaryo için gövde ivmesinin ve süspansiyon deformasyonunun zaman tepkilerini karşılaştırmaktadır. Özellikle tümsek ve sinüzoidal senaryolarda SAC denetleyicisinin gövde ivmesini belirgin biçimde bastırdığı görülmektedir. Şekil 2, konfor iyileşmesini senaryo bazında özetlemekte ve SAC'ın PID karşısındaki üstünlüğünü açıkça ortaya koymaktadır.



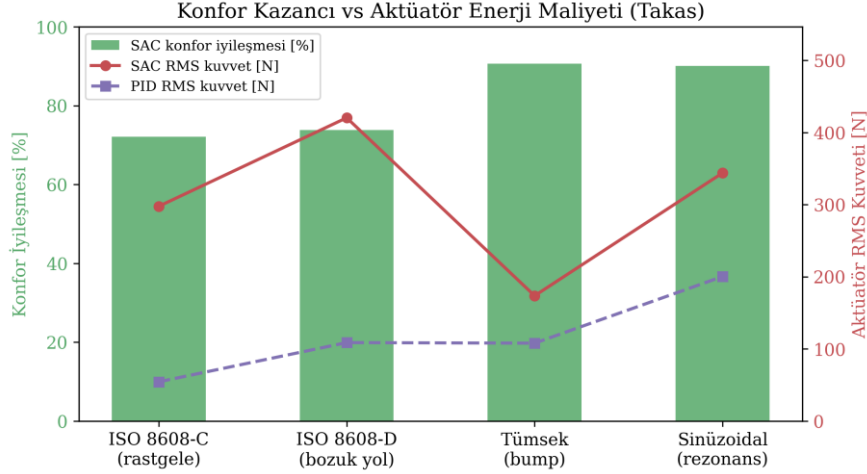
Şekil 1. Dört yol senaryosu için gövde ivmesi (sol sütun) ve süspansiyon deformasyonu (sağ sütun) zaman tepkileri. Kırmızı kesikli çizgiler çalışma boşluğu sınırını (± 80 mm) göstermektedir.



Şekil 2. Senaryo bazında sürüş konforu iyileşmesi (pasif sisteme göre RMS gövde ivmesi azalması). SAC tüm senaryolarda PID'i geride bırakmaktadır.

Elde edilen konfor kazanımının bir ödünleşme içerdiği vurgulanmalıdır. Tablo 1'de görüldüğü üzere, SAC denetleyicisi konfor başarımını yükseltmek için PID'e kıyasla belirgin

ölçüde daha yüksek eyleyici kuvveti kullanmaktadır; örneğin ISO 8608-D senaryosunda SAC'ın RMS kuvveti 420 N iken PID'in değeri 109 N düzeyindedir. Benzer biçimde, SAC denetleyicisi süspansiyon çalışma boşluğunu daha fazla kullanmaktadır (ISO 8608-C senaryosunda 30,8 mm'ye karşılık PID için 10,7 mm). Bununla birlikte, tüm senaryolarda maksimum süspansiyon deformasyonu ± 80 mm'lik fiziksel sınırın altında kalmış ve böylece denetimin güvenli çalışma aralığı korunmuştur. Konfor kazancı ile eyleyici kuvvet maliyeti arasındaki bu ödünleşme Şekil 3'te birlikte görselleştirilmiştir.



Şekil 3. Konfor kazancı (yeşil sütunlar) ile aktüatör enerji maliyeti (kırmızı/mor eğriler) arasındaki ödünleşme. SAC yüksek konfor sağlarken PID'e kıyasla daha fazla eyleyici kuvveti kullanmaktadır.

Genel olarak bulgular, model-bağımsız pekiştirmeli öğrenmenin, sabit kazançlı klasik denetleyicilere kıyasla daha esnek ve yüksek başarımlı bir konfor denetimi sağlayabildiğini göstermektedir. SAC denetleyicisi, yol profiline uyarlanabilen bir denetim politikası öğrenerek, özellikle geçici (tümsek) ve rezonans (sinüzoidal) koşullarında üstün başarımlı sergilemektedir. Öte yandan, bu başarımın daha yüksek eyleyici enerjisi ve çalışma boşluğu kullanımı ile elde edildiği dikkate alınmalı; pratik uygulamalarda eyleyici sınırları ve enerji bütçesi tasarım sürecine açıkça dahil edilmelidir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, çeyrek araç aktif süspansiyon sisteminin denetimi için Soft Actor-Critic tabanlı bir pekiştirmeli öğrenme denetleyicisi önerilmiş ve pasif süspansiyon ile gök-kanca esaslı PID denetleyiciye karşı dört farklı yol senaryosunda değerlendirilmiştir. Sonuçlar, SAC denetleyicisinin gövde ivmesinin RMS değerini pasif sisteme göre %72 ile %91 arasında azalttığını ve konfor açısından tüm senaryolarda PID denetleyicisini geride bıraktığını ortaya koymuştur. Elde edilen konfor kazanımı, daha yüksek eyleyici kuvveti ve artan süspansiyon çalışma boşluğu kullanımı biçiminde bir ödünleşme içermekle birlikte, denetim tüm senaryolarda güvenli çalışma sınırları içinde kalmıştır. Gelecek çalışmalarda, eyleyici enerjisini açıkça kısıtlayan çok-amaçlı ödül tasarımları, yarım araç ve tam araç modellerine genişletme ve gerçek-zamanlı gömülü donanım üzerinde doğrulama hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- [1] Tseng, H. E., & Hrovat, D. (2015). State of the art survey: Active and semi-active suspension control. *Vehicle System Dynamics*, 53(7), 1034-1062.
- [2] Sun, W., Gao, H., & Kaynak, O. (2011). Finite frequency H_∞ control for vehicle active suspension systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 19(2), 416-422.
- [3] Karnopp, D., Crosby, M. J., & Harwood, R. A. (1974). Vibration control using semi-active force generators. *Journal of Engineering for Industry*, 96(2), 619-626.
- [4] ISO 8608 (2016). Mechanical vibration — Road surface profiles — Reporting of measured data. International Organization for Standardization, Geneva.
- [5] Lillicrap, T. P., Hunt, J. J., Pritzel, A., Heess, N., Erez, T., Tassa, Y., Silver, D., & Wierstra, D. (2016). Continuous control with deep reinforcement learning. 4th International Conference on Learning Representations (ICLR 2016), arXiv:1509.02971.
- [6] Haarnoja, T., Zhou, A., Abbeel, P., & Levine, S. (2018). Soft Actor-Critic: Off-policy maximum entropy deep reinforcement learning with a stochastic actor. *Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning (ICML 2018)*, PMLR 80, 1861-1870.
- [7] Fujimoto, S., van Hoof, H., & Meger, D. (2018). Addressing function approximation error in actor-critic methods. *Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning (ICML 2018)*, PMLR 80, 1582-1591.
- [8] Raffin, A., Hill, A., Gleave, A., Kanervisto, A., Ernestus, M., & Dormann, N. (2021). Stable-Baselines3: Reliable reinforcement learning implementations. *Journal of Machine Learning Research*, 22(268), 1-8.
- [9] Reddy, M. P., et al. (2025). Simulation-based comparison of robust control and deep reinforcement learning control techniques for active suspension systems. *Systems Science & Control Engineering*, 13(1), 2600770.
- [10] Luu, L. D., Dong, N. S., & Hung, N. V. (2024). Applying deep reinforcement learning for the active suspension control system on cars. In *Lecture Notes in Networks and Systems*, Springer, doi:10.1007/978-981-97-1868-9_52.
- [11] Han, S.-Y., Liang, T., & Chen, G.-Y. (2023). Enhancing vehicle ride comfort through deep reinforcement learning with expert-guided soft-hard constraints and system characteristic considerations. *Advanced Engineering Informatics*, 59, 102320.
- [12] Du, H., Zhang, N., & Naghdy, F. (2011). Velocity-dependent robust control for improving vehicle lateral dynamics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(3), 454-468.
- [13] Kuzu, E., Top, S., Kursunoglu, S., & Altiner, M. (2026). Predictive modeling and SHAP-based interpretability of manganese and iron dissolution in multi-acid leaching systems using hybrid machine learning. *Processes*, 14(11), 1716.

FİZİK-BİLGİLİ SİNİR AĞLARI İLE TEK YÖNLÜ VERİDEN YAPISAL TİTREŞİM SÖNÜMLEME PARAMETRESİNİN TAHMİNİ: ÇİFT İNTEGRAL TABANLI BİR TERS PROBLEM YAKLAŞIMI

*Estimation of Structural Vibration Damping Parameter from Unidirectional Data Using
Physics-Informed Neural Networks: A Double-Integral Based Inverse Problem Approach*

Öğr. Gör. Dr. Emrah KUZU¹

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Salihli Meslek Yüksekokulu,
e-posta: emrah.kuzu@cbu.edu.tr • ORCID: 0000-0001-9004-2105

Dr. Öğr. Üyesi BURAK EMRE YAPANMIŞ²

İzmir Demokrasi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
e-posta: burakemre.yapanmis@idu.edu.tr • ORCID ID : 0000-0003-0499-6581

Prof. Dr. SÜLEYMAN MURAT BAĞDATLI³

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü
e-posta: murat.bagdatli@cbu.edu.tr • ORCID ID: 0000-0002-5152-9604

Öz

Bu çalışmada, gürültülü ve sınırlı serbest titreşim ölçümlerinden çok serbestlik dereceli bir yapısal sistemin sönüm parametresinin tahmin edilmesine yönelik fizik-bilgili bir ters problem yaklaşımı önerilmektedir. İncelenen sistem, zemine ankastre üç serbestlik dereceli (3-SD) bir yay-sönümleyici zincir modelidir ve tek bilinmeyen olarak Rayleigh sönüm yapısındaki modal sönüm oranı ζ ele alınmıştır. Klasik artık (residual) tabanlı fizik-bilgili sinir ağı (PINN) formülasyonunda, ağın yüksek ifade kapasitesi nedeniyle sönüm parametresinin gözlemlenebilirliğini yitirdiği ve tahmin sonuçlarının rastgele başlangıç koşullarına bağlı olarak kararsızlaştığı gözlemlenmiştir. Bu sınırlamanın giderilmesi amacıyla, sinir ağının yalnızca ölçüm gürültüsünü süzmek için kullanıldığı, ardından hareket denkleminin iki kez integre edilerek türev işleminden tamamen kaçınıldığı ve Rayleigh sönümünün doğrusallığı sayesinde sönüm oranının kapalı-form en küçük kareler ile tek adımda çözüldüğü bir yaklaşım önerilmiştir. %2 RMS ölçüm gürültüsü altında yapılan deneylerde, önerilen yöntem ortalama %4,05 bağıl hata ve 0,004 standart sapma ile sonuç üretmiştir. Aynı koşullar altında klasik artık tabanlı PINN ortalama %138 bağıl hata ve 0,199 standart sapma göstermiştir. Elde edilen bulgular, türevden kaçınan integral tabanlı formülasyonun, gürültülü ve tek yönlü ölçümlerden parametre tahmin doğruluğunu ve tekrarlanabilirliğini artırdığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: fizik-bilgili sinir ağları, ters problem, yapısal sönüm, parametre tahmini, gürültü dayanıklılığı

Abstract: *This study proposes a physics-informed inverse problem approach for estimating the damping parameter of a multi-degree-of-freedom structural system from noisy and limited free-vibration measurements. A two-stage method is presented in which a neural network is used solely to denoise the measured response, after which the equation of motion is integrated twice to avoid derivative operations entirely, and the damping ratio is obtained in a single step via closed-form least squares owing to the linearity of Rayleigh damping. Under 2% RMS measurement noise, the proposed method yields a mean relative error of 4.05% with a standard deviation of 0.004, whereas the conventional residual-based PINN exhibits a mean relative error of 138% with a standard deviation of 0.199.*

Keywords: *physics-informed neural networks, inverse problem, structural damping, parameter estimation, noise robustness*

1. GİRİŞ

Yapısal sistemlerin dinamik davranışının modellenmesinde sönüm parametreleri, titreşim genliğinin zamanla azalma hızını ve sistemin enerji yutma kapasitesini belirleyen kritik büyüklüklerdir. Mekanik ve mekatronik sistemlerde sönüm oranının doğru bilinmesi; titreşim yalıtımı tasarımı, hata teşhisi, durum izleme ve aktif/yarı-aktif kontrol uygulamaları açısından belirleyici rol oynamaktadır. Bununla birlikte, sönüm parametreleri genellikle doğrudan ölçülememekte ve sistemin gözlemlenen tepkisinden dolaylı olarak, yani bir ters problem çözümü yoluyla kestirilmektedir [1].

Klasik sistem tanımlama yöntemleri arasında modal analiz, en küçük kareler tabanlı parametre kestirimi ve genişletilmiş Kalman filtresi gibi durum gözlemcileri yer almaktadır. Bu yöntemler, ölçüm gürültüsü ve model belirsizliği altında değişen başarımlar göstermekte; özellikle yer değiştirme verisinin türevlenmesini gerektiren formülasyonlarda gürültü yükselmesinden olumsuz etkilenmektedir. Veri tabanlı derin öğrenme yöntemleri ise yüksek temsil kapasitesi sunmakla birlikte, fiziksel tutarlılığı garanti etmemekte ve genellikle büyük miktarda etiketli veriye gereksinim duymaktadır.

Son yıllarda fizik-bilgili sinir ağları (Physics-Informed Neural Networks, PINN), diferansiyel denklemlerle yönetilen sistemlerde hem ileri hem de ters problemlerin çözümünde yaygın biçimde kullanılmaya başlanmıştır [2, 3]. PINN yaklaşımında, sinir ağının kayıp fonksiyonuna sistemin yönetici denklemi bir fizik kısıtı olarak eklenmekte ve böylece veri ile fiziksel tutarlılık aynı anda sağlanmaya çalışılmaktadır [4]. Ters problemlerde, bilinmeyen fiziksel parametreler ağın öğrenilebilir değişkenleri arasına dahil edilerek ölçüm verisinden birlikte tahmin edilmektedir [5].

Yapısal dinamikte PINN tabanlı parametre tahmini üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Liu ve Meidani [6], doğrusal olmayan yapısal sistemlerin tanımlanması için sönüm teriminin ayrı bir dinamik denklemle yönetildiği çok-fizikli bir PINN yaklaşımı önermiştir. Kiriş-benzeri yapılarda model parametresi tanımlaması için geliştirilen bir çalışmada [7], ters problem doğrudan frekans uzayında formüle edilerek sönümün tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Söyleyici ve Ünver [8], kiriş titreşimlerinin benzetimi ve parametre tanımlaması için Fourier öznitelikleri ile zenginleştirilmiş bir PINN çerçevesi geliştirmiş; ileri ve ters problemleri

deneyisel veriyle doğrulamıştır. Yapısal titreşim analizinde uzun-dönem hata birikimini azaltmaya yönelik yardımcı değişkenli PINN yaklaşımları da önerilmiştir [9].

Artık tabanlı klasik PINN formülasyonu, gürültülü ölçümlerden parametre tahmini söz konusu olduğunda önemli bir kısıtla karşılaşmaktadır. Yönetici denklemdeki ivme terimi, ağın çıktısının ikinci türevinin alınmasını gerektirmekte ve türev işlemi ölçüm gürültüsünü yükseltmektedir. Buna ek olarak, ağın yüksek ifade kapasitesi, yanlış bir parametre değeri için dahi fizik kaybını düşüren yapay bir kinematik üretmesine olanak tanımakta; bu durum bilinmeyen parametrenin gözlemlenebilirliğini zayıflatmaktadır [10]. Bu güçlüğün üstesinden gelmek amacıyla, denklem artığının bir test fonksiyonu ile çarpılıp integre edildiği zayıf-form (variational) PINN yaklaşımları önerilmiştir [11, 12]. Zayıf formülasyon, kısmi integrasyon yoluyla diferansiyel operatörün mertebesini düşürmekte ve böylece keskin gradyanlı ya da gürültülü problemlerde eğitim kararlılığını artırmaktadır [13]. Benzer biçimde, zayıf-form integral kaybının güçlü-form PINN'e kıyasla gürültü altında daha yüksek doğruluk ve yakınsama dayanıklılığı sağladığı gösterilmiştir [14].

Bu çalışmada, söz konusu kısıtın giderilmesine yönelik integral tabanlı bir ters problem formülasyonu önerilmektedir. Önerilen yaklaşımda sinir ağı yalnızca ölçüm gürültüsünü süzen bir araç olarak kullanılmakta, fizik kısıtı ise hareket denkleminin iki kez integre edilmesiyle türev içermeyen bir biçime dönüştürülmektedir. Rayleigh sönüm modelinin sönüm oranına göre doğrusal olması, parametrenin kapalı-form en küçük kareler ile tek adımda çözülmesini mümkün kılmaktadır. Çalışmanın katkıları şu şekilde özetlenebilir: (i) klasik artık tabanlı PINN'in gürültülü parametre tahmininde gösterdiği kararsızlığın niceliksel olarak ortaya konması, (ii) türevden kaçınan çift integral formülasyonunun önerilmesi ve (iii) kapalı-form çözümün tekrarlanabilirlik ve hesaplama maliyeti açısından değerlendirilmesi.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

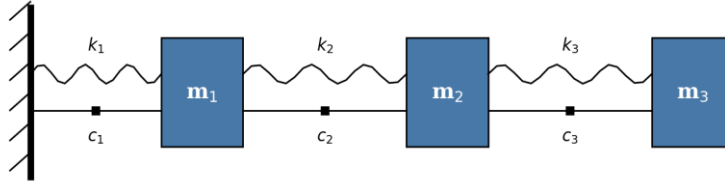
Bu bölümde, incelenen yapısal sistem modeli, önerilen yöntem ve karşılaştırma düzeni tanıtılmaktadır. Tüm sayısal deneyler Python ortamında, otomatik türev kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.1. Sistem Modeli ve Problem Tanımı

İncelenen sistem, zemine ankastre üç serbestlik dereceli bir yay-sönümleyici zincirdir. Sistemin yönetici denklemi matris formunda aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = 0 \quad (1)$$

Burada $x(t) \in \mathbb{R}^3$ yer değiştirme vektörü, M , C ve K sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. Kütle matrisi $M = \text{diag}(m_1, m_2, m_3)$ biçiminde köşegen olup, rijitlik matrisi zincir topolojisine göre üç-köşegen yapıdadır. Sistemin fiziksel düzeni Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Zemine ankastre 3-SD yay-sönümleyici zincir modeli

Şekil 1. Zemine ankastre 3-SD yay-sönümleyici zincir modeli.

Sönüm matrisi, Rayleigh (orantılı) sönüm varsayımı altında $C = \alpha M + \beta K$ biçiminde tanımlanmaktadır. Katsayılar ilk iki doğal frekans üzerinden ortak bir modal sönüm oranı ζ cinsinden yazıldığında, sönüm matrisi $C = \zeta C_{taban}$ şeklinde tek bir skaler parametreye bağlı hale gelmektedir. Bu yapı, ters problemde tek bilinmeyen ζ olmasını sağlamaktadır.

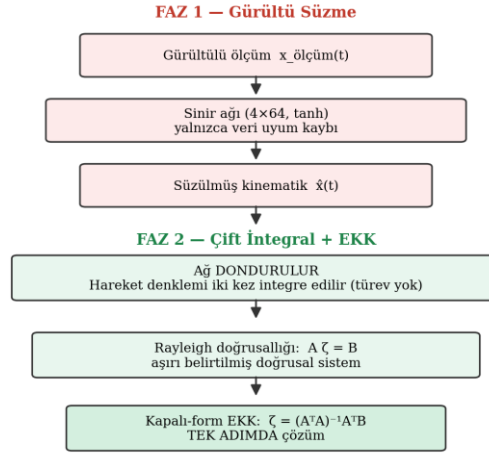
Problem şu biçimde tanımlanmaktadır: serbest titreşim altında ölçülen ve %2 RMS düzeyinde Gauss gürültüsü içeren yer değiştirme verilerinden sönüm oranı ζ tahmin edilecektir. Sayısal deneylerde gerçek değer $\zeta = 0,15$ alınmıştır. Tablo 1, deneylerde kullanılan sistem parametrelerini özetlemektedir.

Tablo 1. Sistem parametreleri ve deney koşulları.

Parametre	Değer
Kütleler (m_1, m_2, m_3)	1,0 ; 1,0 ; 1,0 kg
Yay sabitleri (k_1, k_2, k_3)	800 ; 600 ; 400 N/m
Doğal frekanslar ($\omega_1, \omega_2, \omega_3$)	11,32 ; 28,28 ; 43,26 rad/s
Gerçek sönüm oranı (ζ)	0,15
Başlangıç yer değiştirme	[1, 0, 0] m
Başlangıç hızı	[0, 0, 0] m/s
Benzetim süresi / örnek	6,0 s / 240
Ölçüm gürültüsü	%2 RMS (Gauss)

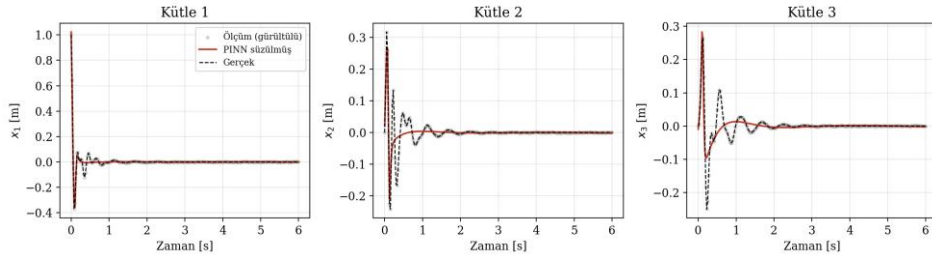
2.2. Önerilen Yöntem

Önerilen Süzölmüş Çift-İntegral En Küçük Kareler (DDI-EKK) yaklaşımı iki aşamadan oluşmaktadır. Şekil 2, yöntemin genel akışını göstermektedir.



Şekil 2. Önerilen DDI-EKK yönteminin akış şeması.

Birinci aşamada, tek girişli (zaman) ve üç çıkışlı bir ileri beslemeli sinir ağı, ölçülen gürültülü yer değiştirme verisine uydurulmaktadır. Ağ, dört gizli katman ve katman başına 64 nöron ile hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu kullanmaktadır. Bu aşamada ağ herhangi bir fizik kısıtı olmaksızın yalnızca veri uyum kaybını en aza indirmekte; böylece bir gürültü süzücü olarak görev yapmaktadır. Şekil 3, üç kütle için süzme sonuçlarını sunmaktadır.



Şekil 3. Üç kütle için ölçülen, sinir ağı ile süzölmüş ve gerçek yer değiştirme tepkilerinin karşılaştırılması.

İkinci aşamada, ağ ağırlıkları dondurularak süzölmüş kinematik sabitlenmektedir. Türev işleminin gürültüyü yükseltmesini önlemek amacıyla hareket denklemi $[0, t]$ aralığında iki kez integre edilmektedir. Birinci integrasyon, hız ve yer değiştirme cinsinden aşağıdaki ifadeyi vermektedir:

$$M(\dot{x}(t) - \dot{x}_0) + C(x(t) - x_0) + KI_1[x] = 0 \quad (4)$$

İkinci integrasyon sonucunda, hız teriminin de elendiği ve yalnızca yer değiştirme ile onun integrallerini içeren son biçim elde edilmektedir:

$$M(x(t) - x_0 - \dot{x}_0 t) + \zeta C_{taban}(I_1[x] - x_0 t) + KI_2[x] = 0 \quad (5)$$

Burada $I_1[x]$ ve $I_2[x]$ sırasıyla yer değiştirmenin birinci ve ikinci zaman integralleridir ve yamuk kuralı ile sayısal olarak hesaplanmaktadır. Bu formülasyonda hiçbir türev işlemi yapılmamakta; integral işlemi süzölmüş veride kalan küçük hataların etkisini azaltmaktadır. Rayleigh sönüm yapısı gereği denklem, bilinmeyen ζ parametresine göre doğrusaldır. Tüm zaman örnekleri ve serbestlik dereceleri bir araya getirilerek $A\dot{\zeta} = B$ biçiminde aşırı belirlenmiş

bir doğrusal sistem oluşturulmakta ve sönüm oranı kapalı-form en küçük kareler çözümü $\zeta = (A^T A)^{-1} A^T B$ ile tek adımda elde edilmektedir.

2.3. Karşılaştırma Düzeni

Önerilen yöntem, klasik artık tabanlı PINN ile karşılaştırılmıştır. Artık tabanlı PINN'de sönüm oranı ağ ağırlıkları ile birlikte eş zamanlı olarak optimize edilmiş; fizik kaybı olarak noktasal artık $\|M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx\|^2$ kullanılmıştır. Tahminlerin başlangıç koşuluna duyarlılığını değerlendirmek amacıyla, her iki yöntem de aynı veri ve aynı gürültü gerçeklemesi üzerinde beş farklı rastgele başlangıç tohumu ile çalıştırılmıştır. Başarım, gerçek değere göre bağlı hata ve tohumlar arası standart sapma ölçütleriyle değerlendirilmiştir.

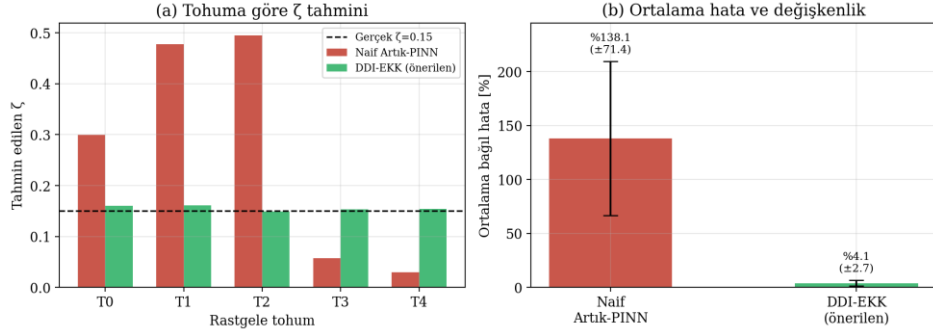
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Tablo 2, beş tohum için elde edilen sönüm oranı tahminlerini ve özet istatistikleri sunmaktadır. Artık tabanlı PINN, tohuma bağlı olarak $\zeta \in [0,029, 0,495]$ aralığında değişen sonuçlar üretmiş; ortalama bağlı hata %138 ve standart sapma 0,199 olarak hesaplanmıştır. Önerilen DDI-EKK yöntemi ise tüm tohumlarda $\zeta \in [0,149, 0,161]$ aralığında kalmış; ortalama bağlı hata %4,05 ve standart sapma 0,004 olarak elde edilmiştir.

Tablo 2. Beş rastgele tohum için sönüm oranı tahminleri ve özet istatistikler.

Tohum	Artık tabanlı PINN (ζ)	DDI-EKK (ζ)
T0	0,2995	0,1606
T1	0,4777	0,1610
T2	0,4947	0,1494
T3	0,0571	0,1537
T4	0,0294	0,1545
Ortalama ζ	0,2717	0,1558
Std. sapma	0,1988	0,0044
Ort. bağlı hata	%138,0	%4,05
Hata aralığı	%62 – %230	%0,4 – %7,3

Şekil 4, sonuçların grafiksel karşılaştırmasını sunmaktadır. Şekil 4(a)'da görüldüğü üzere, artık tabanlı PINN tahminleri gerçek değer çevresinde sistematik bir yakınsama göstermemekte, tohuma bağlı olarak hem gerçek değer altında hem de iki katından fazla değerlerde dağılmaktadır. Şekil 4(b), ortalama bağlı hatayı ve değişkenliği göstermektedir. Önerilen yöntemin standart sapması, artık tabanlı PINN'e kıyasla yaklaşık 45 kat daha düşüktür.



Şekil 4. (a) Beş tohum için sönüm oranı tahminleri; (b) ortalama bağıl hata ve değişkenlik (hata çubukları standart sapmayı göstermektedir).

3.1. Hesaplama Maliyeti

İki yöntemin hesaplama maliyeti aynı donanım üzerinde karşılaştırılmıştır. Artık tabanlı PINN'de sönüm parametresi, her yineleme adımında ağ çıktısının ikinci mertebeden türevinin otomatik türev ile hesaplanmasını gerektiren yinelemeli bir optimizasyon ile elde edilmektedir. Önerilen DDI-EKK yönteminde ise fizik adımı, türev içermeyen ve tek adımda çözülen kapalı-form bir en küçük kareler işlemidir. Tablo 3, iki yöntemin toplam çözüm sürelerini karşılaştırmaktadır.

Tablo 3. İki yöntemin hesaplama maliyeti karşılaştırması.

Özellik	Artık tabanlı PINN	DDI-EKK
Parametre çözümü	Yinelemeli (gradyan)	Kapalı-form (tek adım)
Türev mertebesi	İkinci (autograd)	Yok (integral)
Fizik adımı yineleme	6000	1
Toplam süre	97,7 s	14,4 s

Tablo 3'te görüldüğü üzere, önerilen yöntemin toplam çözüm süresi artık tabanlı PINN'e kıyasla yaklaşık 6,8 kat daha düşüktür. Bu farkın temel kaynağı, parametre çözümünün yinelemeli bir optimizasyon yerine tek adımlı kapalı-form bir işlemle elde edilmesi ve ikinci mertebeden türev hesabından kaçınılmasıdır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlar, gürültülü ölçümlerden parametre tahmininde türev mertebesinin belirleyici bir etken olduğunu göstermektedir. Artık tabanlı formülasyonda kullanılan ikinci mertebeden türev, ölçüm gürültüsünü yükselterek sönüm parametresine ulaşan gradyan bilgisini bozmaktadır. Ayrıca, sınır ağının yüksek ifade kapasitesi, yanlış parametre değerlerini telafi eden yapay kinematik çözümler üretmesine olanak tanımakta ve parametrenin gözlemlenebilirliğini zayıflatmaktadır.

Önerilen çift integral formülasyonu bu iki sorunu da hedef almaktadır. İntegral işlemi türevin tersine gürültüyü sönümlemekte; sınır ağının yalnızca süzme amacıyla kullanılıp ardından dondurulması ise parametrenin ağ esnekliğine sığınmasını engellemektedir. Rayleigh sönümünün doğrusallığından yararlanılarak elde edilen kapalı-form çözüm, yinelemeli

optimizasyona özgü belirsizlikleri ortadan kaldırmakta ve sonuçların tekrarlanabilirliğini artırmaktadır. Bu bulgular, zayıf-form ve integral tabanlı PINN yaklaşımlarının güçlü-form formülasyonlara kıyasla gürültü altında daha kararlı sonuçlar verdiğini bildiren literatür ile uyumludur [11–14].

Gözlemlenebilirlik açısından değerlendirildiğinde, parametre tahmininin güvenilirliği yalnızca yöntem seçimine değil, ölçüm penceresinin sönüm dinamiğini yeterince içermesine de bağlıdır. Serbest titreşim verisinin yeterli sayıda sönüm çevrimi içermesi, sönüm oranının veriden ayırt edilebilirliğini artırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan altı saniyelik ölçüm penceresi, sistemin baskın modunun belirgin biçimde sönümlendiği bir aralığı kapsamaktadır.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Önerilen yöntem, sönüm parametresinin yönetici denklemde doğrusal biçimde yer aldığı durumlar için kapalı-form çözüm sağlamaktadır; doğrusal olmayan parametre bağımlılıklarında en küçük kareler adımının yinelemeli biçimde genişletilmesi gerekecektir. Ayrıca, süzme aşamasında kullanılan ağ kapasitesinin aşırı artırılması, yer değiştirme tepkisine yapay yüksek frekanslı bileşenler ekleyerek integral terimlerini bozabilmektedir; bu nedenle ağ kapasitesinin ölçülü seçilmesi önem taşımaktadır. Son olarak, sunulan sonuçlar düşük-orta gürültü rejiminde (%2 RMS) elde edilmiştir; daha yüksek gürültü seviyelerinde süzme aşamasının başarımı ayrı bir çalışmada sistematik olarak incelenmelidir.

Sonuç olarak, bu çalışmada gürültülü ve tek yönlü serbest titreşim ölçümlerinden 3-SD bir yapısal sistemin sönüm oranının tahmin edilmesine yönelik, türevden kaçınan integral tabanlı bir fizik-bilgili ters problem yaklaşımı önerilmiştir. %2 RMS gürültü altında önerilen yöntem ortalama %4,05 bağıl hata ve 0,004 standart sapma ile sonuç üretmiş; aynı koşullarda klasik artık tabanlı PINN ortalama %138 bağıl hata ve 0,199 standart sapma göstermiştir. Önerilen yöntemin toplam çözüm süresi referans yöntemle kıyasla yaklaşık 6,8 kat daha düşük bulunmuştur. Karşılaştırmalı analizler, önerilen yöntemin parametre tahmin doğruluğunu, tekrarlanabilirliğini ve hesaplama verimliliğini referans yöntemle kıyasla artırdığını göstermektedir. Gelecek çalışmalarda, yöntemin daha geniş gürültü aralığında Monte Carlo analizi ile değerlendirilmesi, çok parametrelili ters problemlere ve doğrusal olmayan sönüm modellerine genişletilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Chopra, A. K. (2017). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (5th ed.). Pearson.
- [2] Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 378, 686–707.
- [3] Karniadakis, G. E., Kevrekidis, I. G., Lu, L., Perdikaris, P., Wang, S., & Yang, L. (2021). Physics-informed machine learning. *Nature Reviews Physics*, 3(6), 422–440.
- [4] Cuomo, S., Di Cola, V. S., Giampaolo, F., Rozza, G., Raissi, M., & Piccialli, F. (2022). Scientific machine learning through physics-informed neural networks: Where we are and what's next. *Journal of Scientific Computing*, 92(3), 88.

- [5] Haghighat, E., Raissi, M., Moure, A., Gomez, H., & Juanes, R. (2021). A physics-informed deep learning framework for inversion and surrogate modeling in solid mechanics. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 379, 113741.
- [6] Liu, T., & Meidani, H. (2023). Physics-informed neural networks for system identification of structural systems with a multiphysics damping model. *Journal of Engineering Mechanics*, 149(10), 04023079.
- [7] Teloli, R. O., Bigot, M., Coelho, L., Ramos, P., Tittarelli, R., & Champaney, V. (2025). A physics-informed neural networks framework for model parameter identification of beam-like structures. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 224, 112050.
- [8] Söyleyici, C., & Ünver, H. Ö. (2025). A physics-informed deep neural network based beam vibration framework for simulation and parameter identification. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 141, 109804.
- [9] Chen, Z., Lai, S. K., & Yang, Z. (2024). AT-PINN: Advanced time-marching physics-informed neural network for structural vibration analysis. *Thin-Walled Structures*, 196, 111423.
- [10] Wang, S., Yu, X., & Perdikaris, P. (2022). When and why PINNs fail to train: A neural tangent kernel perspective. *Journal of Computational Physics*, 449, 110768.
- [11] Kharazmi, E., Zhang, Z., & Karniadakis, G. E. (2019). Variational physics-informed neural networks for solving partial differential equations. *arXiv preprint arXiv:1912.00873*.
- [12] Kharazmi, E., Zhang, Z., & Karniadakis, G. E. (2021). hp-VPINNs: Variational physics-informed neural networks with domain decomposition. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 374, 113547.
- [13] Yuan, L., Ni, Y. Q., Deng, X. Y., & Hao, S. (2022). A-PINN: Auxiliary physics informed neural networks for forward and inverse problems of nonlinear integro-differential equations. *Journal of Computational Physics*, 462, 111260.
- [14] Zhang, D., Lu, L., Guo, L., & Karniadakis, G. E. (2019). Quantifying total uncertainty in physics-informed neural networks for solving forward and inverse stochastic problems. *Journal of Computational Physics*, 397, 108850.

MAKİNE ÖĞRENİMİ KULLANARAK EEG'DEN EPİLEPTİK NÖBET TESPİTİ

Dr. Öğr. Üyesi Nurettin Gökşenli

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü,
ngoksenli@karatekin.edu.tr - 0000-0002-0858-4448

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tümay

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü,
mtumay@karatekin.edu.tr - 0000-0003-2938-8005

ÖZET

Epilepsi, dünya çapında en yaygın nörolojik bozukluklardan biridir. Anormal, aşırı senkronize beyin aktivitesinden kaynaklanan tekrarlayan nöbetlerle kendini göstermektedir. Elektroensefalogram (EEG), epileptik nöbetleri tespit etmek ve analiz etmek için kullanılan birincil klinik araçtır. Manuel incelemenin yükü ve hızlı tespitin kritik önemi göz önüne alındığında, klinisyenlere yardımcı olmak için otomatik nöbet tespit sistemleri geliştirme konusunda çok büyük bir gereksinim vardır. Bu çalışma, 16 kanallı EEG özellikleriyle tanımlanan dört sınıflı bir Epilepsi nöbet tipi için topluluk KNN kullanarak değerlendirme yapmaktadır. KNN, standart doğruluk, hata oranı, eğitim süresi, tahmin verimliliği ve bellek kullanımı ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, KNN algoritması yüksek doğrulama doğruluğuna ($\geq \%95$) ulaşmış, ancak belirgin dezavantajlar sergilemiştir. Topluluk KNN, en iyi genel doğruluğu (doğrulama $\%98,8$, test $\%99,3$; makro-AUC $\approx 0,9996$) sağlamış, ancak en büyük modeli (25 MB) gerektirmiş ve yalnızca orta düzeyde çıkarım hızı (3,8 k gözlem/s) sunmuştur, bu da uç veya gerçek zamanlı uygulamalar için uygundur.

Anahtar Kelimeler : Açıklanabilir yapay zeka, makine öğrenmesi, topluluk KNN.

1. GİRİŞ

Epilepsi, dünya çapında en yaygın nörolojik bozukluklardan biridir ve her yaştan yaklaşık 50 milyon insanı etkilemektedir [1]. Anormal, aşırı senkronize beyin aktivitesinden kaynaklanan tekrarlayan nöbetlerle karakterizedir. Nöbetler genellikle tek bir yarım kürede ortaya çıkan veya başlangıçtan itibaren her iki yarım küreyi de içeren) olarak sınıflandırılır [2]. Elektroensefalogram (EEG), epileptik nöbetleri tespit etmek ve analiz etmek için kullanılan birincil klinik araçtır. EEG, kafa derisi elektrotları aracılığıyla beynin elektriksel sinyallerini kaydeder ve sinirsel aktiviteye invaziv olmayan bir pencere sağlar. Nöbetler sırasında, EEG sinyalleri, normal beyin aktivitesinden veya artefaktlardan ayıran belirgin kalıplar, genellikle yüksek genlikli diken ve dalga deşarjları sergiler.

Ancak, uzun EEG kayıtları içindeki bu geçici nöbet paternlerini belirlemek zordur. Geleneksel olarak, nörologlar ince anormallikleri tespit etmek için saatlerce süren EEG kayıtlarını görsel olarak taramak zorundadır; bu da emek yoğun ve zaman alıcı bir süreçtir. Manuel incelemenin yükü ve hızlı tespitin kritik önemi göz önüne alındığında, klinisyenlere yardımcı olmak için

otomatik nöbet tespit sistemleri geliştirme konusunda çalışmalar vardır. Gerçekten de, güvenilir otomatik tespit, bakım verenleri nöbetler konusunda gerçek zamanlı olarak uyarabilir ve uzmanları kapsamlı EEG izleme görevlerinden kurtarabilir.

Son yıllarda, EEG tabanlı nöbet tespiti için çok sayıda hesaplama yöntemi araştırılmıştır. İlk çalışmalar, klasik makine öğrenimi sınıflandırıcılarıyla birleştirilmiş el yapımı özellik çıkarımına odaklanmıştır. Tipik yaklaşımlar, ham EEG zaman serilerini bilgilendirici özellik temsillerine, spektral analizlere veya zaman-frekans alanı özelliklerine dönüştürmeyi ve daha sonra denetimli bir sınıflandırıcıya girdi olarak vermeyi içerir [3]. Destek Vektör Makineleri (SVM), Yapay Sinir Ağları (ANN) ve k-En Yakın Komşular (KNN), bu göreve uygulanan popüler geleneksel sınıflandırıcılar arasındadır. Bu yöntemler, iyi seçilmiş özellikler üzerinde eğitildiğinde, nöbetli ve nöbetsiz EEG segmentlerini ayırmada yüksek doğruluk elde edebilir. Örneğin, Shueb ve Guttag'ın bir SVM kullanarak yaptığı öncü çalışma, yaklaşık %93 nöbet tahmin doğruluğu elde etmiştir [4].

Birçok çalışma, geleneksel ML modelleri kullanarak kıyaslama veri kümelerinde %90-99 aralığında performans bildirmektedir. Amin ve ark. Naive Bayes, KNN, SVM ve MLP (YSA) sınıflandırıcılarını dalga özellikleri ile değerlendirmiş ve yaklaşık %92 doğruluk elde etmiştir [5]. Benzer şekilde, Hassan ve Subasi, SVM'yi genetik algoritmalarla optimize ederek %92,4 doğruluk elde etmiştir [6]. Dikkatli özellik mühendisliği yoluyla, bazı yaklaşımlar belirli veri kümelerinde interiktal ve iktal EEG segmentlerinin neredeyse mükemmel sınıflandırılmasını bile bildirmiştir. Örneğin, dalga tabanlı bulanık KNN yöntemi, ikili nöbet tespiti görevinde (Bonn Üniversitesi veri kümesi) %100 doğruluk ve aynı verilerde 3 sınıflı sınıflandırma için yaklaşık %93 doğruluk elde etmiştir [7]. Benzer şekilde, Bonn veri kümesinde optimize edilmiş SVM veya YSA modelleri kullanan çeşitli araştırmacılar, %98-99'un üzerinde genel doğruluklar elde etmiştir [8-9]. Bu sonuçlar, temiz EEG segmentleriyle kontrollü koşullar altında, geleneksel sınıflandırıcıların nöbet modellerini çok yüksek hassasiyetle tanımayı öğrenebileceğini göstermektedir.

Bu kadar umut verici sonuçlara rağmen, erken dönem çalışmalarının çoğu nispeten basitleştirilmiş senaryolarla, genellikle ikili sınıflandırma veya tek bir kaynaktan idealize edilmiş segmentler kullanılarak ele alınmıştır. Çok sınıflı nöbet sınıflandırması, EEG paternlerindeki daha büyük karmaşıklık ve değişkenlik nedeniyle daha zorlu olmaya devam etmektedir. Sınıf sayısı arttıkça performans düşme eğilimindedir [10]. Örneğin, Selvaraj ve ark. (2023), beş nöbet tipini sınıflandırmak için zaman/frekans özelliklerini çıkarmış ve beş yönlü sınıflandırma için en yüksek doğruluk oranının ~%79,7 olduğunu bildirmiştir [11]. Benzer şekilde, birden fazla nöbet kategorisini ayırt etmek üzere eğitilmiş derin öğrenme modelleri, çok sınıflı ortamlarda yalnızca yaklaşık %80-88 doğruluk oranına ulaşmıştır. Bu, daha kolay ikili görevlerdeki neredeyse mükemmel sonuçlardan önemli ölçüde daha düşüktür [7]. Bu bulgular, bazı nöbet tipleri arasındaki örtüşen özellikler ve nadir sınıflar için sınırlı eğitim verileri göz önüne alındığında, çok sınıflı nöbet tanıma işleminin doğasında var olan zorluğu yansıtmaktadır. Bununla birlikte, çok sınıflı sınıflandırma klinik olarak önemlidir. [12]. Bu nedenle, sağlam çok sınıflı nöbet tespit sistemleri üzerine sürekli araştırmalara ihtiyaç vardır.

Bu çalışmada, yakın zamanda yayınlanan bir veri seti ve birden fazla öğrenme algoritması kullanarak epilepsi tespiti için dört sınıflı bir EEG sınıflandırma problemini ele aldık. Hindistan'daki bir nöroloji merkezinden elde edilen kapsamlı bir hasta EEG kayıtları koleksiyonu olan Bangalore EEG Epilepsi Veri Seti'ni (BEED) [13] kullandık. BEED, dört kategoriye eşit olarak bölünmüş 16.000 EEG sinyal segmenti (her biri 20 saniye uzunluğunda) içerir: Sağlıklı (kontrol deneklerinden normal EEG), Genelleşmiş Nöbetler, Odaklanmış Nöbetler ve Nöbet Olayları. BEED'deki her kategori, 20 yetişkin denekten elde edilen verileri içerir ve zengin çeşitliliğe sahip dengeli bir veri seti oluşturur. Bu 4 sınıflı sınıflandırma senaryosu, EEG okumalarının pratik bir spektrumunu yansıtır. Bildiklerimize göre, BEED, makine öğrenimi araştırmaları için dengeli çok sınıflı bir çerçeve sunan ilk halka açık veri kümelerinden biridir. BEED'den yararlanarak, sadece nöbetleri değil, aynı zamanda mevcut nöbet aktivitesinin türünü de belirleme görevinde geleneksel KNN sınıflandırıcısının performansını değerlendirmeyi amaçladık.

Özetle, çalışmamız çeşitli güncel konuları bir araya getiriyor ve yeni bir EEG veri kümesi üzerinde çok sınıflı nöbet sınıflandırması, KNN makine öğrenimi sınıflandırıcısının kullanımı ve model yorumlaması için XAI uygulaması. Sonraki bölümlerde, özellik çıkarma ve model eğitimi metodolojimizi detaylandıracak, ardından dört sınıflı BEED veri kümesi üzerinde KNN'nin performansını karşılaştıran deneysel sonuçları sunduk. Son olarak, bulgularımızın ilgili çalışmalar bağlamındaki etkilerini tartışarak ve epilepsi izlemede doğru ancak açıklanabilir yapay zeka çözümleri geliştirmenin gelecekteki yönlerini özetledik. Genel amaç, EEG tabanlı nöbet tespitini yalnızca doğru değil, aynı zamanda klinik olarak anlaşılabilir ve güvenilir sistemlere doğru ilerletmektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

BEED veri setinde eksik giriş bulunmadığından, yalnızca temel bir bütünlük kontrolü yapıldı ve eksik değerlere sahip tüm örnekler elendi (BEED'de hiç eksik değer yoktu). EEG sinyallerine ek filtreleme veya sinyal dönüşümü uygulanmadı. Özellikle, ham EEG segmentlerine gürültü filtreleme, bant geçiren filtreleme, artefakt giderme veya zaman-frekans özellik çıkarma işlemi uygulanmadı. Her 20 saniyelik EEG segmentinin 16 kanallı özellik vektörü, sınıflandırıcıların girdisi olarak olduğu gibi kullanıldı. Bu yaklaşım, sınıflandırma görevi için orijinal sinyal özelliklerini ve karmaşıklığını koruyarak, sınıflandırıcıların doğrudan ham (filtrelenmemiş) EEG verilerinden öğrenmesini sağladı. KNN temel öğrencilerini kullanan rastgele alt uzay yöntemine dayalı bir topluluk sınıflandırıcısıyla birlikte uygulandı ve değerlendirildi.

Gizli katmanda sigmoid aktivasyon fonksiyonu, dört sınıflı çıktıyı karşılamak için ise çıkış katmanında softmax aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Bu mimari, veri kümesi boyutunu göz önünde bulundurarak model karmaşıklığı ve aşırı uyum riskini dengelemek için seçilmiştir. Eğitim, MATLAB'de ölçeklendirilmiş eşlenik gradyan geri yayılım algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

KNN sınıflandırıcısı, ön doğrulama deneylerine dayanarak $k=10$ olarak yapılandırıldı. Özellik uzayındaki mesafeleri hesaplamak için Öklid mesafe metriği kullanıldı. Mesafe ağırlıklandırması uygulanmadı, yani 10 komşunun her biri çoğunluk oylamasına eşit katkıda bulundu. Mesafe hesaplamalarında tüm EEG kanallarından eşit katkı sağlamak için özellik

standardizasyonu etkinleştirildi. $k=10$ seçimi, gürültüye duyarlılık ve aşırı yumuşatma arasında bir uzlaşma sağladı. Eşitlik bozma kuralları da dahil olmak üzere diğer tüm KNN parametreleri varsayılan ayarlara göre kullanıldı.

Tüm model geliştirme, eğitim ve değerlendirme işlemleri MATLAB'da gerçekleştirildi. BEED veri setinden alınan EEG verileri MATLAB'a aktarıldı ve tüm ön işleme ve modelleme prosedürleri MATLAB'ın araç setleri kullanılarak yürütüldü. Özellikle, KNN modellerini eğitmek için İstatistik ve Makine Öğrenimi Araç Kutusu kullanıldı. Alt uzay KNN topluluğu, MATLAB'ın fonksiyonu ile Alt Uzay yöntemi ve KNN temel öğrencileri kullanılarak geliştirildi. Performansı izlemek ve aşırı uyumun önüne geçmek için MATLAB eğitim fonksiyonları içindeki çapraz doğrulama da dahil olmak üzere dahili doğrulama kullanıldı.

Model performansı öncelikle, toplam EEG segmentlerinin içinden doğru sınıflandırılanların oranı olarak tanımlanan sınıflandırma doğruluğu kullanılarak değerlendirildi. BEED veri seti dengeli bir sınıf dağılımına sahipti, bu da genel doğruluğu model performansını karşılaştırmak için uygun bir ölçüt haline getirdi. Eğitimden sonra, model doğruluk puanlarını hesaplamak için görünmeyen veriler üzerinde test edildi. Doğruluk birincil ölçüt olarak kullanılsa da, tüm nöbet türlerinde tutarlı performansı doğrulamak için karışıklık matrisleri de incelendi. Bildirilen tüm sonuçlar değerlendirme verilerindeki doğruluğu yansıtmaktadır. Daha yüksek doğruluk, doğru tanımlanmış EEG segmentlerinin daha büyük bir oranını gösterir ve bu da daha etkili nöbet tespiti ve sınıflandırmasını yansıtır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

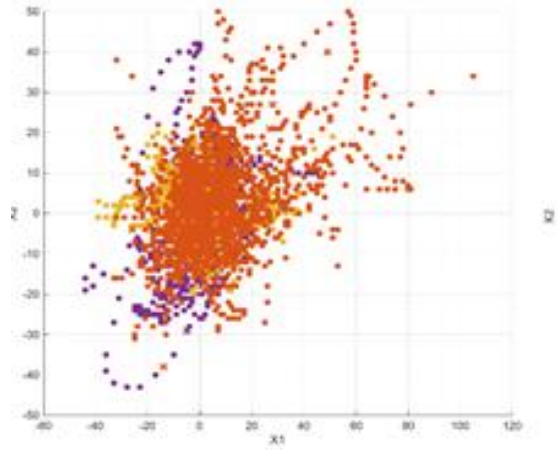
KNN sınıflandırıcıda tahmin performansı genel olarak güçlüydü ($\geq 95\%$ doğrulama doğruluğu), Topluluk K-NN, en yüksek doğrulama doğruluğunu ($98,8\%$) elde etti ve ancak bu avantajın bedelini nispeten büyük bir disk alanı (~ 25 MB) ve yalnızca orta seviye tahmin hızı ($\sim 3,8$ k gözlem/s) ile ödedi.

Kısacası, topluluk K-NN ham doğrulukta iyi bir performans göstermiştir. Tüm ölçümler Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Dağıtılan modelin performans metrikleri.

Model Tipi	% Doğruluk	% Hata Oranı
Topluluk KNN	98,805	1,195

Görsel 1, test seti ilk iki özelliğe (X_1, X_2) yansıtıldığında KNN modeli tarafından üretilen sınıf atamalarını görselleştirir. Her panelde, çoğunluk sınıfının yoğun, damla şeklindeki çekirdeği (turuncu daireler) yeniden üretilir ve tüm modellerin gözlemlerin büyük çoğunluğunda hemfikir olduğunu ortaya koyar. KNN, noktaların çoğunu doğru sınıflandırır, ancak yine de bulutun sol alt kenarı boyunca ve merkezinde yanlış sınıflandırılmış çarpı işaretleri (hem turuncu hem de mor) serpiştirir. Dolayısıyla, görsel kanıtlar nicel puanları yansıtıyor ve KNN de verilerin merkezi yapısı konusunda hemfikirdir.



Görsel 1. Epilepsi tipi tahminlerine ait KNN saçılım grafikleri

Tanısal grafikler, özet Çizelge 1'de zaten görülen doğruluk hiyerarşisini tekrarlamaktadır. K-en yakın komşu topluluğunda, 7200 doğrulama örneğinden yalnızca 86'sı yanlış sınıfa yerleştirilmekte olup, sınıf başına doğruluk %98'in üzerinde ve makro ortalama AUC yaklaşık 0,9996'dır. Nicel ölçümler, görsel teşhisler ve açıklanabilirlik analizleri birlikte ele alındığında, KNN son derece yetkin tutarlı bir model resmini çiziyor ve doğruluk olarak puanının önemli olduğu durumlarda doğal bir seçim haline geliyor. Ancak bu avantaj, 25 MB'lık büyük bir alan kaplaması ve yalnızca orta düzeyde bir işlem hızıyla birlikte geliyor, bu da bellek veya gecikme kısıtlamalı platformlarda dağıtımını engelleyebilir.

Özetle, organizasyonel bağlam nihai uygulamayı belirlemelidir ve kritik görev doğruluğu için KNN iyi bir seçimdir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Özetle, KNN sınıflandırıcı mükemmel dört sınıf ayrımı sağlıyor. Topluluk K-NN, en yüksek ve en istikrarlı doğruluğa ulaşıyor, ancak büyük bir bellek ayak izi ve orta düzeyde tahmin hızı pahasına. Sonuç olarak, en uygun model dağıtım ihtiyaçlarına bağlı olarak maksimum doğruluk için KNN diyebiliriz.

KAYNAKÇA

1. Feigin, V. L. *et al.*, Global, regional, and national burden of epilepsy, 1990–2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021, *Lancet Public Health*, 10, 3, Mar. 2025.
2. Najmusseher, B. and Nizar, P. K., Feature Engineering for Epileptic Seizure Classification Using SeqBoostNet, *International Journal of Computing and Digital Systems*, 2025, 1, 2025.

3. Ahmad, I. *et al.*, EEG-Based Epileptic Seizure Detection via Machine/Deep Learning Approaches: A Systematic Review, *Comput Intell Neurosci*, 2022, 6486570, 2022.
4. Shoeb, A. and Guttag, J., Application of machine learning to epileptic seizure detection, in *ICML'10: Proceedings of the 27th International Conference on International Conference on Machine Learning*, 2025,
5. Amin, H. U. *et al.*, Feature extraction and classification for EEG signals using wavelet transform and machine learning techniques, *Australas Phys Eng Sci Med*, 38, 1, Mar. 2015.
6. Hassan, A. R. and Subasi, A., Automatic identification of epileptic seizures from EEG signals using linear programming boosting, *Comput Methods Programs Biomed*, 136, Nov. 2016.
7. Kunekar, P., Gupta, M. K. and Gaur, P., Detection of epileptic seizure in EEG signals using machine learning and deep learning techniques, *Journal of Engineering and Applied Science*, 71, 1, Dec. 2024.
8. Koolen, N. *et al.*, Line length as a robust method to detect high-activity events: Automated burst detection in premature EEG recordings, *Clinical Neurophysiology*, 125, 10, Oct. 2014.
9. Atlam, H. F., Aderibigbe, G. E. and Nadeem, M. S., Effective Epileptic Seizure Detection with Hybrid Feature Selection and SMOTE-Based Data Balancing Using SVM Classifier, *Applied Sciences* 2025, Vol. 15, Page 4690, 15, 9, Apr. 2025.
10. Shoeibi, A. *et al.*, Epileptic Seizures Detection Using Deep Learning Techniques: A Review, *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, 18, 11, May 2021.
11. Selvaraj, A., *et al.*, Multi-Class Seizure Type Classification Using Features Extracted from the EEG, *Stud Health Technol Inform*, 305, Jun. 2023.
12. Tekten, P. S., Kotan, S. and Kacar, F., Multiclass classification of epileptic seizure phases using a novel HFO-based feature extraction model, *Signal Image Video Process*, 19, 4, Apr. 2025.
13. BEED: Bangalore EEG Epilepsy Dataset - UCI Machine Learning Repository, Aug. 06, 2025, [Online] Available:
<https://archive.ics.uci.edu/dataset/1134/beed:+bangalore+eeg+epilepsy+dataset>.

GÜNEŞ IŞINIM MİKTARI ÖLÇMEK İÇİN LDR İLE BİR DEVRE TASARIMI VE UYGULAMASI

Dr. Öğr. Üyesi Nurettin Gökşenli

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü,
ngoksenli@karatekin.edu.tr - 0000-0002-0858-4448

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Tümay

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü,
mtumay@karatekin.edu.tr - 0000-0003-2938-8005

ÖZET

Güneşten yeryüzüne ulaşan toplam kısa dalga güneş ışınımını ölçen cihazlara piranometre denir. Bu cihazlar iklim araştırmalarında, tarım sektöründe, güneş enerjisi santrallerinde ve meteorolojik olayları tahminde, güneş panellerinin enerji verimliliğini takip etmek ve enerji potansiyelini hesaplamak amacıyla kullanılır. Bu çalışmamızda fotovoltaiik hücrelerden oluşan güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışınım miktarını ölçerek ve aynı zamanda elde edilen elektrik enerjisinin kontrolünü sağlamak için ışığa duyarlı direnç (LDR) kullanarak güneş ışınımını ölçmek için basit ve ucuz bir piranometre devresi tasarladık. Bunun için temel gerilim bölücü devresi ile, LDR üzerine düşen ışınım miktarının değişmesiyle gerilim bölücü devredeki değişiklikler temel alınarak, matematiksel bir model geliştirilmiş ve mikrodenetleyici devrede programlanarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sistem, araştırmacılar ve uygulayıcılar için daha ekonomik ve basit bir sistem olarak kullanım alanı bulabilir.

Anahtar Kelimeler : Fotovoltaiikler, güneş ışınımı, piranometre tasarımı.

1. GİRİŞ

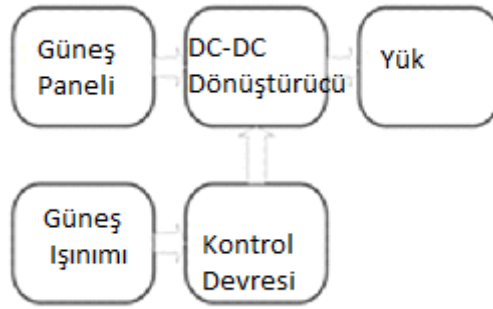
Küresel büyüme, teknoloji ve sanayideki gelişmenin hızla artması ve dolayısıyla yaşam şeklinin de buna ayak uydurması gibi sebeplerden dolayı her geçen gün dünyada tüketilen enerji miktarı artmaktadır. Ancak, geleneksel enerji kaynakları sınırlı rezervlere sahiptir, bulunup kullanılabilmesi zor ve pahalıdır ve çevre kirliliğine sebep olurlar. Bu sebeplerden dolayı yeni enerji kaynaklarına yönelim gün geçtikçe artmaktadır. Buna alternatif ise, hem çevre dostu hem de genelde rezerv sınırı olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bunlardan biri de, belki de en önemlisi güneştir. Güneş enerjisi, şüphesiz çok önemli bir enerji kaynağıdır [1-5]. Doğal yapısı oldukça zengindir ve çevreye karşı son derece duyarlıdır. Fotovoltaiik (PV) sistemlerin yapısı silisyumdan oluşur ve bu element dünyada bol miktarda bulunur. PV'ler güneş ışınımını elektrik enerjisine dönüştürebilen bir yapıya sahiptir. Fotovoltaiik üreteçlerle (PVG) çalışan alternatif akım (AC) yükleri üzerine pek çok çalışma yapılmıştır [6–10]. PVG sistemlerinin maksimum verimlilikle işletilmesi gerekir, çünkü PVG'lerin üretim maliyeti, başlangıç aşamasında oldukça yüksektir. Üstelik bu enerji çevreyi kirletmez, her yerde kullanılabilir ve bakım maliyeti çok azdır. Güneş ışınımından elektrik üretmenin en iyi yolu fotovoltaiik (PV)

sistemleri kullanmaktır. Bu nedenle, PV üreteçleri (PVG) ile beslenen çeşitli elektriksel yüklerin kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır [11-20]. Güneş panelleri (PVG)'nin avantajları arasında şunları sayabiliriz; yakıt gereksinimleri yoktur, kirlilik oluşturmazlar ve gürültü çıkarmazlar. Dezavantajları ise, yatırım maliyetleri yüksektir ve enerji dönüşüm verimlilikleri henüz çok düşüktür. Bu nedenle güneş panellerinin verimini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Bunlardan en önemli olanlarından biri de, güneş panellerinin maksimum güç noktası takibidir. Maksimum güç noktasının belirlenmesi için, güneş panellerinin I-V (Akım-Voltaj) karakteristiklerinin doğru bir şekilde çizilmesi gerekmektedir. Güneş panellerinin I-V karakteristiklerinin doğru bir şekilde çizilmesi için de güneş ışınım miktarının ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarına göre hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Güneşten yeryüzüne ulaşan toplam kısa dalga güneş ışınımını ölçen cihazlara piranometre denir. Cihazın hassasiyetine ve kalitesine göre fiyatları oldukça yüksektir. Piranometreler genel olarak ölçüm teknolojilerine ve kullanım alanlarına göre iki ana gruba ayrılır. Bunlar, termopil (Termoelektrik) piranometreler ve silikon fotodiyot (Fotovoltaik) piranometrelerdir. Bu çalışmamızda fotovoltaik hücrelerden oluşan güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışınım miktarını ölçerek ve aynı zamanda elde edilen elektrik enerjisinin kontrolünü sağlamak için ışığa duyarlı direnç (LDR) kullanarak güneş ışınımını ölçmek için basit ve ucuz bir piranometre devresi tasarladık. Bunun için temel gerilim bölücü devresiyle, LDR üzerine düşen ışınım miktarının değişmesiyle gerilim bölücü devredeki değişiklikler temel alınarak, matematiksel bir model geliştirilmiş ve mikrodenetleyici devrede programlanarak uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bunun için güneş ışınımı sensör yada doğrudan pironometre kullanılarak belirlenerek mikrodenetleyiciye verilecektir. Maximum güce karşılık gelen panel gerilimi % güneş ışınımı cinsinden modellenerek mikroişlemciye programlanacaktır. Mikroişlemci aldığı bu verileri değerlendirerek çıkışında denklem (1)'deki gibi görev döngüsü oluşturacak şekilde programlanacaktır. Kontrol devresi maksimum güç noktası takip (MPPT) devresini kontrol etmektedir. Kontrol devresinin görev döngüsünü V_{max} ile belirleyerek, frekansı sabit tutup, MPPT devresini kontrol etmekteyiz. Maksimum çıkış gücünü elde etmek için gereken görev döngüsü kontrol devresindeki mikroişlemci programı tarafından oluşturulur. Güneş ışınımı şiddetini ölçmek amacıyla, sensör olarak ışığa duyarlı direnç (LDR) kullanılmıştır. Ölçülen güneş ışınımı şiddeti, bir denklemle belirlenen görev döngüsünü oluşturmak üzere mikroişlemciye giriş değeri olarak uygulanır. Burada V_{max} ve V_{out} , sırasıyla PVG maksimum güç gerilimi ve sistemin anlık ölçülen çıkış gerilimidir. Güneş ışınımı miktarını belirlemek amacıyla LDR kullanılarak fotovoltaik üreticinin kısa devre akımı ölçülmüştür. Güneş ışınımı fonksiyonunu elde etmek için, çok sayıda farklı güneş ışınımı seviyesinde mikroişlemci giriş gerilimi, V_R ölçülmüştür. Görev döngüsü bağıntısı uyarınca gerekli görev döngüsü değerini elde etmek amacıyla $V_{max} = f(S)$ ilişkisini kullanmak üzere mikroişlemci programlanmıştır. PVG gerilimi V_{max} değerinde sabitlendiğinde, PVG maksimum güç yörüngesinde çalışacak şekilde yönlendirilmiş olur. Tüm süreçlerde kullanılan sistemin yalnızca iki girişe sahip olduğunun altı çizilmelidir. Bu girişler, güneş ışınımı (S) ve çıkış yük gerilimidir (V_{out}). Kullanılan diğer tüm parametreler S'ye bağlıdır ve mikroişlemciye bir program aracılığıyla uygulanır.

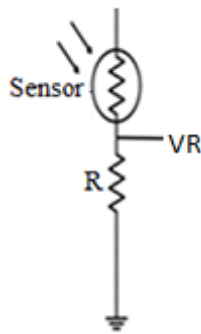
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu sistemin kontrol devresi, bir sensör kullanarak güneş ışınımını ölçecek şekilde tasarlanmıştır. Güneş ışınımı öncelikle kontrol devresi tarafından algılanmakta ve ardından mikroişlemciye uygulanmak üzere gerilime dönüştürülmektedir. Modelde kullanılan tüm parametreler ve görev döngüsü mikroişlemci programı tarafından hesaplanmıştır. Sistemin blok diyagramı Görsel 1'de, kontrol devresi ise Görsel 2'de gösterilmiştir. Kullanılan DC-DC dönüştürücü devresi yükseltici tiptedir ve kullanılan invertör devresi tek fazlı yarım köprü invertör devresidir. Maksimum çıkış gücünü almak için gerekli görev döngüsü, kontrol devresinde mikroişlemci programı tarafından üretilir. Güneş ışınım yoğunluğunu ölçmek için ışığa bağımlı direnç (LDR) sensör olarak kullanılmıştır. Ölçülen güneş ışınım yoğunluğu, denklem (1) ile belirlenen görev döngüsünü (dc) üretmek için mikroişlemciye giriş değeri olarak uygulanır.

$$dc = 1 - (V_{\max} / V_{out}) \quad (1)$$



Görsel 1. Tüm Sistemin Blok Diyagramı



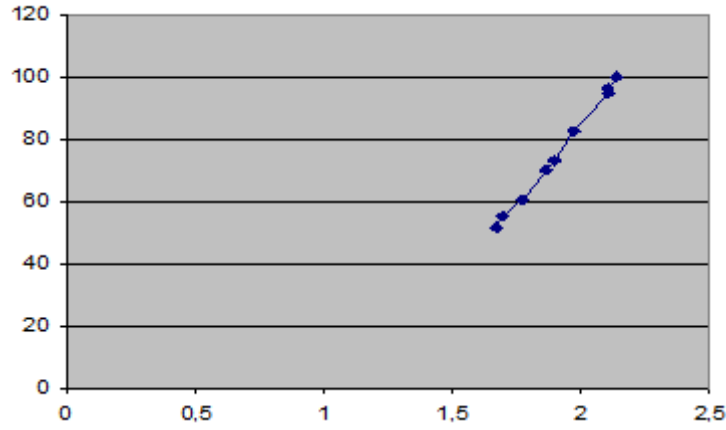
Görsel 2. V_R Değerlerini Belirlemek İçin Kontrol Devresi

Güneş ışınımı miktarını belirlemek amacıyla LDR kullanılarak fotovoltaik üreticinin kısa devre akımı ölçülmüştür. Güneş ışınımı fonksiyonunu elde etmek için, çok sayıda farklı güneş ışınımı seviyesinde mikroişlemci giriş gerilimi V_R ölçülmüştür. Güneş Işınım miktarını belirlemek için bir LDR kullanılarak Güneş Panelinin Kısa devre akımına karşılık gelen değerler güneş ışınımıyla doğru orantılı olduğu için LDR'nin etkisiyle değişen LDR'ye seri bağlı direnç

üzerindeki voltajın, V_{LDR} değerleri Çizelge 1’de ve güneş ışıınımı yüzdesinin V_R gerilimine göre değişimi Görsel 3’te gösterilmektedir.

Çizelge 1. V_{LDR} Değerleri

V_{LDR}	I_{sc}	%S
1,67	0,354	51,68
1,7	0,38	55,5
1,77	0,415	60,56
1,867	0,48	70
1,9	0,5	73
1,97	0,565	82,5
2,106	0,65	94,9
2,109	0,66	96,35
2,14	0,685	100



Görsel 3. Farklı güneş ışıınımlarına göre V_R gerilimi

Matlab programı kullanılarak V_R ile yüzde güneş ışıınımı S arasındaki ilişki denklem (2)’deki gibi bulunmuştur.

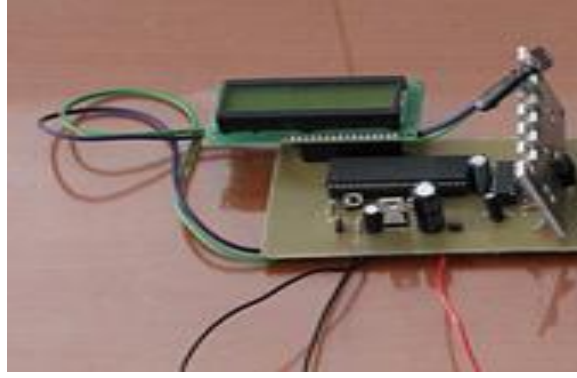
$$S = a.V_R^2 + b.V_R + c \quad (2)$$

burada, $a = 29,9$, $b = -11,8$ and $c = -10,6$ değerlerini almaktadırlar.

Denkleme (2)’ye göre mikroişlemci V_R değerini ölçer ve S , V_R cinsinden ifade edilir. Böylece S değeri V_R ’den elde edilir. S bulunduktan sonra, diğer bütün işlemlerde kullanılarak tüm model parametreleri mikroişlemci programı tarafından hesaplanır. Tüm süreçlerde kullanılan sistemin yalnızca iki girişe sahip olduğunun altı çizilmelidir. Bu girişler, güneş ışıınımı (S) ve sistemin çıkış yük gerilimidir (V_{out}). Kullanılan diğer tüm parametreler S ’ye bağlıdır ve mikroişlemciye bir program aracılığıyla uygulanır.

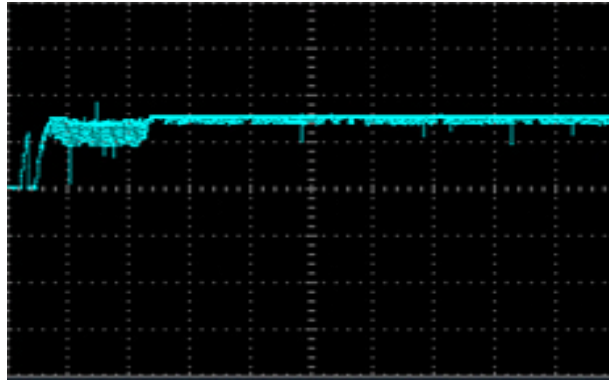
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

%100 güneş ışıınımı ($S = 100$) için Görsel 4’teki uygulama devresi kullanılarak deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

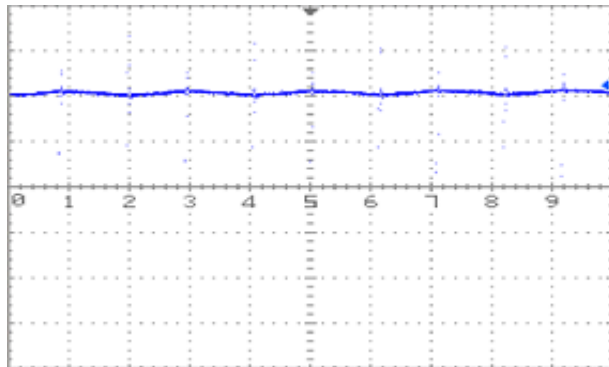


Görsel 4. Sistemin uygulama devresi

Uygulama devresine ait deneysel ölçümler aşağıdaki şekillerde görülmektedir. PVG giriş gerilimi ve giriş akımı, sırasıyla Görsel 5 ve 6'daki gibi ölçülmüştür.



Görsel 5. PVG Giriş Gerilimi



Görsel 6. PVG Giriş Akımı

Burada, PVG giriş gerilimi 16 volt ve PVG giriş akımı 600 miliamper olarak ölçülmüştür. Ölçülen bu iki değer, %S=100 durumu için sistemin maksimum güç yörüngesi noktalarıyla aynıdır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmamızda fotovoltaik hücrelerden oluşan güneş panellerinin üzerine düşen güneş ışınım miktarını ölçerek ve aynı zamanda elde edilen elektrik enerjisinin kontrolünü sağlamak için ışığa duyarlı direnç (LDR) kullanarak güneş ışınımını ölçmek için basit ve ucuz bir piranometre devresi tasarladık ve uygulamasını yaptık. LDR'nin diğer fotodiyot veya fototransistör gibi sensör olarak kullanılabilecek elektronik elemanlara nispeten daha yavaş olmasına rağmen sistemin çıkış ve giriş gücü oranına göre, sistemin verimliliği %95 olarak elde edilmiştir. Bu, kurulum maliyeti yüksek olan ve pek çok uygulama alanı bulabileceği düşünülen PVG sistemleri için iyi bir sonuç olarak değerlendirilebilir. Elde edilen sistem, araştırmacılar ve uygulayıcılar için daha ekonomik ve basit bir sistem olarak kullanım alanı bulabilir.

KAYNAKÇA

1. Balçılar, M., Özdemir, Z.A., Özdemir, H., Shahbaz, M.: The renewable energy consumption and growth in the G-7 countries: Evidence from historical decomposition method, *Renewable Energy*, 126, 594-604, 2018.
2. Goksenli, N., Akbaba, M.: Development of a new microcontroller based MPPT method for photovoltaic generators using Akbaba model with implementation and simulation, *Solar Energy*, 136, 622-628, 2016.
3. Heard, B. P, Brook, B. W, Wigley, T. M. L, Bradshaw, C. J. A.: Burden of proof: A comprehensive review of feasibility of 100% renewable-electricity systems, "Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76, 1122-1133, 2017.
4. Sanli, T., Hui, H., Jie, S., Wanjun, Q.: Efficient path of distributed solar energy system synergetically combining photovoltaics with solar-syngas fuel cell, *Energy Conversion and Management*, 173, 704-714, 2018.
5. Sobrina, S., Sam Koohi, K., Nasrudin Abd, R.: Solar photovoltaic generation forecasting methods: A review, *Energy Conversion and Management*, 156, 459-497, 2018.
6. Akbaba, M.: Matching Induction Motors to PVG for Maximum Power Transfer, *Desalination*, 209, 1, 31-38, 2007.
7. Akbaba, M.: Matching Three-phase AC Loads to PVG for Maximum Power Transfer using an Enhanced Version of the Akbaba Model and Double Step-Up Converter, *Solar Energy*, 75, 1, 17-25, 2003.
8. Akbaba, M.: Optimum Matching Parameters of an MPPT Unit Used for a PVG-Powered Water Pumping System for Maximum Power Transfer, *International Journal of Energy Research*, 30, 395-409, 2006
9. Ghosh, S., Malla, G., Bhende, C. N.: Small-Signal Modelling and Control of Photovoltaic Based Water Pumping System, *ISA Transactions* 57, Tem, 382-389, 2015.
10. Nazir, R., Kanada, K., Syafii., Covernia, P.: Optimization active and reactive power flow for PV connected to grid system using Newton Raphson method, *Energy Procedia*, 68, 77-86, 2015.
11. Veerachary, M., Senjyu, T., Uezato, K.: Feedforward Maximum Power Point Tracking of PV Systems using Fuzzy Controller, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 38, 3, 969-981, 2002.

13. Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., Voulgaris, N. C.: Development of a Microcontroller-Based, Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control System, IEEE Transactions on Power Electronics, 16, 1, 46-54, 2001.
14. Masoum, M.A., Dehbonei, H., Fuchs, E. F.: Theoretical and Experimental Analyses of Photovoltaic Systems with Voltage and Current-based Maximum Power-Point Tracking, IEEE Transactions on Energy Conversion, 17, 4, 514-522, 2002.
15. Tse, K. K., Ho, M. T., Chung, H. S. H., Hui, S. Y. R.: A novel Maximum Power Point Tracker for PV Panels using Switching Frequency Modulation, IEEE Transactions on Power Electronics, 17, 6, 980-989, 2002.
16. Muhida, R., Park, M., Dakkak, M., Matsuura, K., Tsuyoshi, A., Michira, M.: A Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic-SPE System using a Maximum Current Controller, Solar Energy Materials and Solar Cells, 75, 3, 697-706, 2003
17. El-Shafy, A., Nafeh, F. H., Fahmy, El-Zahab, E. M. A.: Evaluation of a Proper Controller Performance for Maximum-Power Point Tracking of a Stand-Alone PV System, Solar Energy Materials and Solar Cells, 75, 3, 723-728, 2003.
18. Akbaba, M., Alattawi, M. A. A.: A New Model for I–V Characteristic of Solar Cell Generators and its Applications, Solar Energy Materials and Solar Cells, 37, 2, 123-132, 1995.
20. Xiaobo, D., Fenghai, K.: Study on Load Model of PV Generation Planning, Energy Procedia, 17, 119-126, 2012.

GENİŞ DEPO ALANLARINDA JİROSKOP DESTEKLİ RFID ETİKET KONUMLANDIRMA SİSTEMİ

Muhammed Melik UĞUR

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uluslararası Bilgisayar Anabilim Dalı, İzmir
melikugur@hotmail.com - 0000-0003-3943-6859

Vahid AKRAM

Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uluslararası Bilgisayar Anabilim Dalı, İzmir
vahid.akram@ege.edu.tr - 0000-0002-4082-6419

ÖZET

Depo operasyonlarında hedef ürünün bulunma süresi iş gücü maliyetini doğrudan etkilemektedir. Pasif UHF RFID etiketleri stok kodunun okunması için yaygın biçimde kullanılmaktadır. Buna karşın ekranda yalnızca ham RSSI veya açı değerinin gösterilmesi sahada yeterli yönlendirme sağlamamaktadır. Depoya yerleştirilen sabit RFID okuyucuların kurulumu maliyetlidir. BLE ve UWB tabanlı çözümler ise ek etiket veya alıcı gerektirmektedir.

Bu çalışmada, entegre UHF RFID okuyucu ve yönelim sensörü içeren bir Android el terminali için geliştirilen radar tipi konumlandırma uygulamasının yazılım mimarisi ve veri akışı sunulmaktadır. RSCJA DeviceAPI üzerinden alınan EPC, RSSI ve azimut verisi cihazın yönelim bilgisiyle birleştirilerek dairesel radar ekranında gösterilmektedir. Yazılım SDK geri çağrılarını, sinyal normalizasyonu, filtreleme ve radar çizim katmanlarından oluşmaktadır. Depo personeli hedef etiketi seçerek taramayı başlatabilir ve etiketin göreceli konumunu sesli geri bildirimle takip edebilir.

Anahtar Kelimeler : Android uygulama, RFID, radar arayüz, sensör füzyonu, el terminali, UHF

1. GİRİŞ

Büyük depolarda ürünlerin doğru rafta ve doğru zamanda bulunması toplama süresini ve hata oranını doğrudan etkilemektedir. Pasif UHF RFID teknolojisi, etiketlerin görüş hattı olmadan okunabilmesi nedeniyle envanter işlemlerinde sık kullanılmaktadır [1]. El terminalleri üzerinde çalışan üretici yazılım kütüphaneleri etiket kimliğini (EPC) okumanın yanı sıra RSSI ve azimut bilgisi de üretebilmektedir. Bu ham ölçümler depo koridorunda ilerlerken yön bulmak için pratik bir gösterge sunmamaktadır. Ölçümün dBm veya derece olarak gösterilmesi, hedefin sağda mı solda mı olduğunu ve yaklaşma trendini kısa sürede yorumlamayı zorlaştırmaktadır.

Saha koşullarında ihtiyacı karşılamak üzere el terminalinde çalışan bir konumlandırma katmanı tasarlanmıştır. Uygulama, mevcut donanıma ek okuyucu veya harici işaretçi eklemekten gerçek zamanlı görsel ve işitsel geri bildirim üretmeyi amaçlamaktadır. Depo personeli (bundan sonra kullanıcı), hedef etiketi seçtikten sonra terminali çevirerek radardaki noktayı izleyebilir. Ses frekansı yakınlıkla değiştiği için ekrana sürekli bakma zorunluluğu azalmaktadır.

Bu bildiri geliştirilen Android uygulamasının mimarisini, veri akışını ve arayüz düzenini açıklamaktadır. Bildirinin ddak noktası, RSCJA DeviceAPI geri çağrılarının nasıl işlendiği ve radar panelinde nasıl gösterildiğidir. İzleyen bölümde ilgili literatür özetlenmekte, daha sonra mimari, çalışma mantığı ve kullanıcı arayüzü adım adım sunulmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

İç mekân konumlandırma çalışmalarında RFID tabanlı yöntemler çoğunlukla sabit konumlandırılmış okuyuculara dayanmaktadır. LANDMARC, referans etiketlerden gelen sinyal gücüyle konum tahmini üretmektedir [2]. Liu ve arkadaşlarının derlemesinde RSSI, TOA ve parmak izi (fingerprint) teknikleri karşılaştırmalı olarak sınıflandırılmıştır [3]. Depo toplama hattında personel konumunun RFID ile izlendiği saha denemeleri de raporlanmıştır [4]. Bu yaklaşımların ortak yönü, sahaya ek okuyucu kurulumu veya önceden hazırlanmış bir sinyal haritası gerektirmesidir.

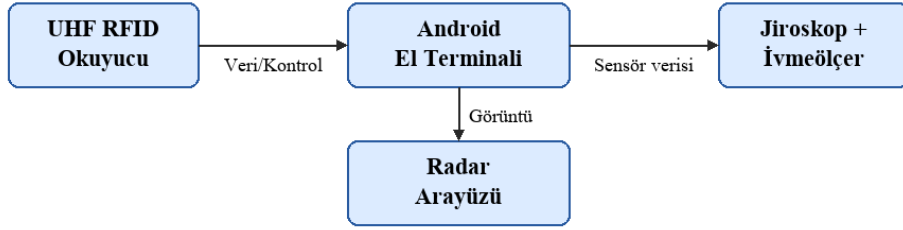
Sabit altyapı yükünü azaltmaya yönelik çalışmalarda sanal referans kavramı öne çıkmaktadır. VIRE, fiziksel referans etiket sayısını interpolasyonla tamamlamaktadır [5]. Pasif UHF etiketlerde yön bilgisi varış açısı (AoA) ölçümüyle de elde edilebilmektedir [6]. Depo uygulamalarında çoklu anten maliyeti önemli bir karar ölçütüdür. BLE işaretçileri telefon tabanlı parmak izi haritalamaya uygundur [7]. UWB ve Wi-Fi tabanlı sistemler farklı doğruluk ve maliyet profilleri sunmaktadır [8], [9]. Metal raflı depo ortamında RSSI dalgalanması bu yöntemlerin ortak zorluğudur.

Son dönem çalışmalar tek protokole bağlı kalmayıp veri birleştirmeye yönelmektedir. Ghavami ve Abedi, RFID ölçümlerini BLE, Wi-Fi ve ZigBee verileriyle bölüm tabanlı hibrit yapıda birleştirmiştir [10]. Wei ve arkadaşları RSSI zaman serisinde derin öğrenme modeli kullanmıştır [11]. Yu ve arkadaşlarının çalışmasında Wi-Fi, IMU ve UWB akışları ortak bir tekrarlayan ağ içinde füzyon edilmiştir [12]. Zafari ve arkadaşları iç mekân konumlandırma sistemlerini genel çerçevede özetlemiştir [13]. Li ve arkadaşları UHF RFID konum yöntemlerini derlemiştir [14]. Hightower ve Borriello ise konum altyapısı seçiminde doğruluk ile maliyet dengesini vurgulamaktadır [15].

Geliştirilen Android uygulaması bu çizgide eldeki terminal donanımıyla sınırlı kalmayı tercih etmektedir. Sabit okuyucu veya harici işaretçi olmadan RSCJA SDK geri çağrılarını üzerinden EPC, RSSI ve yönelim verisi işlenmektedir. Radar paneli ile ses modülü kullanıcının hedefe göreli yaklaşımını izlemesini sağlamaktadır. Fragment yapısı farklı üretici SDK'larına taşınabilir bir iskelet bırakmaktadır.

3. UYGULAMA MİMARİSİ VE DONANIM ORTAMI

Uygulama, entegre UHF RFID okuyucu ve IMU içeren bir Android el terminali üzerinde çalışmaktadır. Sistem Java/Kotlin ile Android API 21 düzeyinde geliştirilmiştir. RFID erişimi RSCJA DeviceAPI kütüphanesiyle sağlanmaktadır. Görsel 1 yazılımın üç ana bloğunu göstermektedir. Bu bloklar RFID okuyucu katmanı, Android işlem katmanı ve jiroskop destekli radar arayüzü katmanıdır.



Görsel 1. El terminali uygulamasının bileşen mimarisi

Uygulamanın ana ekran UHFMainActivity sınıfı üzerinden fragment yapısı ile yönetilmektedir. Radar konumlandırma işlevi UHFRadarLocationFragment sınıfında gerçekleştirilmektedir. Bu sınıf RadarView bileşenini, hedef EPC giriş alanını, Start locate ve Stop locate düğmelerini ve arama menzili kaydırma çubuğunu bağlamaktadır. Etiket listesi ve seçim işlemi ayrı bir fragment üzerinden yapılmakta, seçilen EPC radar ekranına aktarılmaktadır. Çizelge 1, uygulamanın ana bileşenlerinin görevini göstermektedir.

Çizelge 1. Uygulamadaki temel yazılım bileşenleri

Bileşen	Görevi
UHFMainActivity	Ana aktivite, fragment geçişleri ve okuyucu örneği
UHFRadarLocationFragment	Radar tarama ekranı ve geri çağrı yönetimi
RadarView / RadarPanelView	Dairesel radar çizimi ve etiket noktaları
IUHFRadarLocationCallback	SDK konum ve açılı geri çağrı arayüzü
UHFReadTagFragment	Etiket listesi ve hedef EPC seçimi
UHFSetFragment	Güç, frekans ve cihaz ayarları

4. ANA BİLEŞENLER VE VERİ AKIŞI

Tarama başlatıldıktan sonra veri, SDK geri çağrıları üzerinden ardışık işlem adımlarından geçerek radar ekranına ulaşmaktadır. Geri çağrı mekanizması gerçek zamanlı akışı sürdürmektedir.

4.1. Taramanın Başlatılması

Kullanıcı Start locate düğmesine bastığında startLocated() metodu çalıştırılmaktadır (Kod 1). Radar paneli temizlenmekte ve hedef EPC giriş alanından okunmaktadır. Ardından mReader.startRadarLocation(...) çağrısı ile tarama başlatılmaktadır.

Kod 1. Radar konum taramasının başlatılması (UHFRadarLocationFragment.java)

```
boolean result = mReader.startRadarLocation(  
    mContext, targetEpc, IUHF.Bank_EPC, 32,  
    new IUHFRadarLocationCallback() {  
        @Override
```

```
public void getLocationValue(List<RadarLocationEntity> list) {  
    radarView.bindingData(list, targetEpc);  
}  
@Override  
public void getAngleValue(int angle) {  
    radarView.setRotation(-angle);  
}  
});
```

4.2. Konum ve Açı Geri Çağrılar

SDK taraması iki geri çağrı üretmektedir. Bunlar konum listesi ve cihaz açısıdır. `getLocationValue` her döngüde okunan etiketleri `RadarLocationEntity` listesi olarak döndürmektedir. Kayıtlarda EPC, 0–100 arası yakınlık puanı (`value`) ve etiket azimutu (`angle`) yer almaktadır. Fragment bu listeyi `radarView.bindingData(...)` ile çizim katmanına iletmektedir. Hedef EPC bulunduğunda `playSoundDelayed(value)` yakınlığa göre ses üretmektedir.

`getAngleValue` terminalin yönelim (`yaw`) değerini bildirmektedir. Panel `radarView.setRotation(-angle)` ile döndürülmektedir. Eksi işaret Android canvas eksenini cihaz dönüşüyle hizalamak için kullanılmaktadır. Böylece terminal çevrildiğinde hedef noktası ekranda sabit kalmaktadır.

4.3. Normalizasyon, Görelî Açı ve Filtre

Ham RSSI (dBm) değeri doğrudan gösterilmemektedir. SDK, sinyal gücünü `LocationValue` alanında 0–100 arası puana çevirmektedir. Zayıf okumalar sıfıra, güçlü okumalar yüze yaklaşmaktadır. Aralık dışı değerler kırılmaktadır.

Kod 2. Normalize mesafenin ekran koordinatına dönüştürülmesi (RadarPanelView.java)

```
float distance = (float) (info.getValue() / 100.0 * r);  
float x = (float) (centerX + distance * Math.cos(Math.toRadians(angle)));  
float y = (float) (centerY + distance * Math.sin(Math.toRadians(angle)));
```

Kod 2'de `value` puanı radar yarıçapı `r` ile çarpılarak piksel mesafesine dönüştürülmektedir. `angle` ile birlikte kutupsal koordinattan ekran noktası hesaplanmaktadır. Benzer RSSI tabanlı konumlandırma çalışmalarında da ön işleme adımları kullanılmaktadır [11].

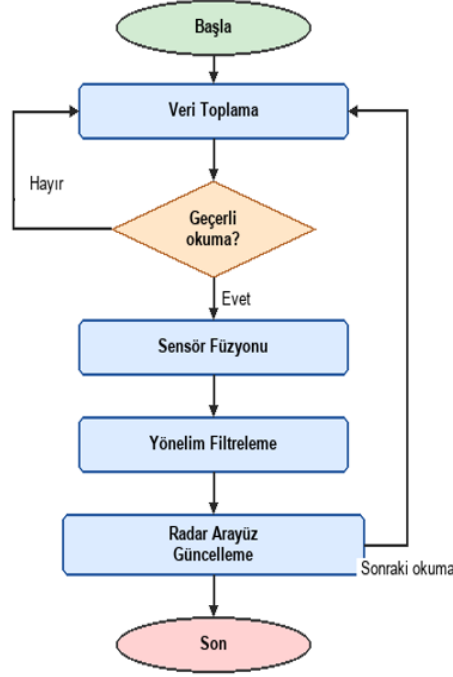
Etiket azimutu cihaz yöneliminden çıkarılarak kullanıcıya göre sağ–sol bilgisi elde edilmektedir. Anlık sinyal sıçramalarını bastırmak için açı değerine üstel ortalama filtre uygulanmaktadır. Önceki ölçüme 0,85, yeni ölçüme 0,15 ağırlık verilmektedir.

4.4. Menzil Ayarı ve Durdurma

Search range kaydırıcısı aktifken okuma menzili dinamik olarak değiştirilmektedir. Kaydırıcı bırakıldığında `setDynamicDistance()` metodu çağrılmakta ve kaydırıcı konumuna göre

okuyucuya bir menzil parametresi iletilmektedir. Stop locate düğmesine basılması veya ekranın arka plana düşmesi durumunda `stopRadarLocation()` ve `radarView.stopRadar()` metotları çalıştırılmaktadır. Tarama animasyonu ve envanter bayrağı sıfırlanmaktadır. Donanım tetik düğmesi de aynı başlat ve durdur döngüsünü yönetmektedir.

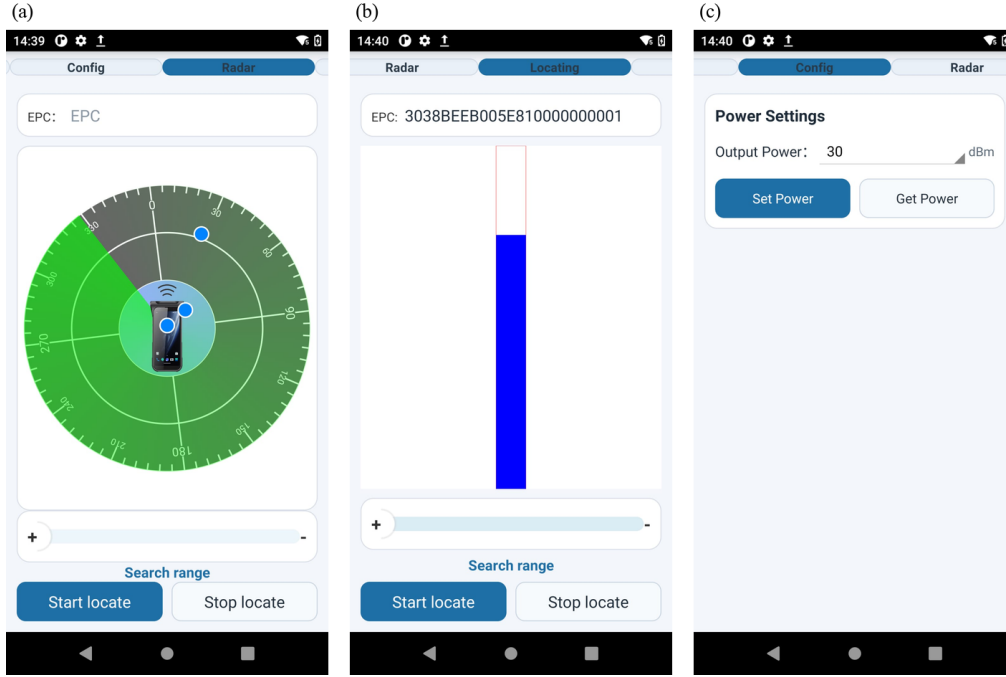
Görsel 2 veri işleme sırasını özetlemektedir. Tarama başlatıldıktan sonra SDK geri çağrılar alınmakta, normalizasyon ve filtre adımlarından geçen veri radar paneline ve ses modülüne yönlendirilmektedir.



Görsel 2. Uygulama veri işleme ve füzyon akışı

5. KULLANICI ARAYÜZÜ EKRLANLARI

Günlük kullanımda radar konumlandırma, RSSI konum ve cihaz ayarları ekranları arasında geçiş yapılabilir. Üç ekran da aynı el terminalinde çalışmaktadır. Görsel 3 bu arayüzleri (a), (b) ve (c) alt görselleriyle bir arada sunmaktadır.



Görsel 3. Uygulama arayüz ekranları: (a) radar konumlandırma, (b) RSSI konum görünümü, (c) cihaz ayarları

5.1. Radar Konumlandırma Ekranı

Görsel 3(a) ana konumlandırma arayüzünü göstermektedir. Üst bölümde Config ve Radar sekmeleri ile EPC giriş alanı yer almaktadır. Ortada yeşil dairesel radar paneli bulunmaktadır. Panelde derece işaretleri, mesafe halkaları ve tespit edilen etiket noktaları görüntülenmektedir. Merkezde terminal simgesi yer almaktadır. Alt bölümde Search range kaydırıcısı ile Start locate ve Stop locate düğmeleri bulunmaktadır. Hedef EPC dolu olduğunda ilgili etiket vurgulanmakta ve ses frekansı LocationValue değerine göre artırılmakta veya azaltılmaktadır.

5.2. RSSI Konum Görünümü

Görsel 3(b) alternatif bir konum ekranını göstermektedir. Bu görünüm etiket yakınlığını ağırlıklı olarak sinyal gücüne dayalı bir gösterge ile sunmaktadır. Radar paneline kıyasla daha sade bir geri bildirim kanalı oluşturmaktadır. Kalibrasyon ve hızlı kontrol aşamalarında kullanılmaktadır. Aynı hedef EPC üzerinde her iki görünüm de karşılaştırılabilmektedir.

5.3. Cihaz Ayarları

Görsel 3(c) güç seviyesi, frekans bandı ve okuyucu parametrelerinin ayarlandığı ekranı göstermektedir. Saha konuşlandırmasında önce bu panelden okuma gücü ve bant seçilmekte, ardından radar ekranına geçilmektedir. Yanlış güç ayarı hem menzili hem batarya tüketimini doğrudan etkilediği için ayar adımı ayrı bir ekran olarak tutulmuştur.

Çizelge 2. Kullanım adımları

Adım	İşlem	Ekran / fonksiyon
1	Etiket listesinden hedefi seç	UHFReadTagFragment
2	Güç ve bant ayarını kontrol et	Ayar ekranı, Görsel 3(c)
3	Radar sekmesine geç, EPC doğrula	Radar ekranı, Görsel 3(a)
4	Start locate ile taramayı başlat	startRadarLocation()
5	Yön ve yakınlığı izle, sesi takip et	RadarView ve ses modülü
6	Stop locate ile taramayı bitir	stopRadarLocation()

6. SONUÇ

Bu çalışmada UHF RFID el terminalinde çalışan Android konumlandırma uygulamasının mimarisi ve veri akışı tanımlanmıştır. RFID okuma, yönelim düzeltmesi ve radar çizimi aynı süreçte yürütülmektedir. getLocationValue etiket noktalarını, getAngleValue panel dönüşünü güncellemektedir.

Uygulama ek sabit okuyucu gerektirmemektedir. Mevcut terminal donanımı yeterlidir. Radar ekranı ve ses çıkışı ham RSSI yerine göreceli yakınlık ve yön bilgisi sunduğu için ekranın sürekli yorumlanması gerekmemektedir. 0,85 ağırlıklı açı filtresi ani sinyal sıçramalarını bastırmaktadır. Fragment ve geri çağrı ayrımı kodun başka SDK sürümlerine taşınmasını kolaylaştırmaktadır.

Bu çalışmanın devamında WMS üzerinden hedef raf bilgisinin otomatik çekilmesi ve aynı anda birden fazla EPC aranması planlanmaktadır. Farklı RSCJA terminal modellerinde DeviceAPI çağrılarını tek arayüzde toplayacak ince bir soyutlama katmanı da değerlendirilmektedir. Bu çalışma, yazarın "Büyük Depo Alanlarında RFID Tabanlı Konum Tespit Sistemi" başlıklı yüksek lisans tezinden türetilmiştir

KAYNAKÇA

1. Want, R., An Introduction to RFID Technology, IEEE Pervasive Computing, 5(1), 25-33, 2006.
2. Ni, L.M., Liu, Y., Lau, Y.C., Patil, A.P., LANDMARC: Indoor Location Sensing Using Active RFID, Wireless Networks, 10(6), 701-710, 2004.
3. Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J., Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, 37(6), 1067-1080, 2007.
4. Chen, K.Y., Wu, M.X., Chen, S.M., Applying RFID in Picker's Positioning in a Warehouse, Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference 2013, Springer, Singapore, 521-530, 2013.

5. Zhao, Y., Liu, Y., Ni, L.M., VIRE: Active RFID-based Localization Using Virtual Reference Elimination, Proceedings of the 2007 International Conference on Parallel Processing (ICPP), Xi'an, China, 56-63, 2007.
6. Azzouzi, S., Cremer, M., Dettmar, U., Kronberger, R., Knie, T., New Measurement Results for the Localization of UHF RFID Transponders Using an Angle of Arrival (AoA) Approach, Proceedings of the IEEE International Conference on RFID, Orlando, FL, USA, 91-97, 2011.
7. Faragher, R., Harle, R., Location Fingerprinting with Bluetooth Low Energy Beacons, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 33(11), 2418-2428, 2015.
8. Gezici, S., Tian, Z., Giannakis, G.B., et al., Localization via Ultra-Wideband Radios: A Look at Positioning Aspects for Future Sensor Networks, IEEE Signal Processing Magazine, 22(4), pp. 70-84, 2005.
9. Youssef, M., Agrawala, A., The Horus WLAN Location Determination System, Proceedings of the 3rd International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys), Seattle, WA, USA, 205-218, 2005.
10. Ghavami, A., Abedi, A., RFID-Assisted Indoor Localization Using Hybrid Wireless Data Fusion, arXiv preprint arXiv:2308.02410, 2023.
11. Wei, Z., Zhou, Z., Yu, S., Chen, J., Enhanced Indoor Positioning Using RSSI and Time-Distributed Autoencoder-Gated Recurrent Unit Model, Sensors, 24(15), 4815, 2024.
12. Yu, J., Wang, P., Koike-Akino, T., Orlik, P.V., Multi-Modal Recurrent Fusion for Indoor Localization, Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Singapore, 5083-5087, 2022.
13. Zafari, F., Gkelias, A., Leung, K.K., A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies, IEEE Communications Surveys & Tutorials, 21(3), 2568-2599, 2019.
14. Li, C., Mo, L., Zhang, D., Review on UHF RFID Localization Methods, IEEE Journal of Radio Frequency Identification, 3(4), 205-216, 2019.
15. Hightower, J., Borriello, G., Location Systems for Ubiquitous Computing, Computer, 34(8), 57-66, 2001.

FCFS, SJF VE RR ALGORİTMALARININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRMALARININ YAPILDIĞI MODÜLER VE GENİŞLETİLEBİLİR BİR İŞLEMCI ZAMANLAMA SİMÜLASYON ALTYAPISI

Dr. Öğr. Üyesi Ali Fatih Gündüz

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

ÖZET

İşlemci zamanlama algoritmaları, işletim sistemlerinde işlemci kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlayan temel bileşenlerden biridir. Farklı zamanlama algoritmaları; bekleme süresi, işlem tamamlama süresi, işlemci kullanım oranı ve sistem verimi gibi performans ölçütleri üzerinde önemli farklılıklar oluşturabilmektedir. Bu çalışmada, klasik işlemci zamanlama algoritmalarının ortak bir simülasyon ortamında karşılaştırılmasını sağlayan modüler ve genişletilebilir bir tek işlemcili zamanlama simülatörü geliştirilmiştir. Tasarlanan simülasyon altyapısı; süreç üretimi, süreç yönetimi, zamanlayıcı ve simülasyon ortamı olmak üzere birbirinden bağımsız bileşenlerden oluşmaktadır. Bu mimari sayesinde farklı zamanlama algoritmaları, simülasyon ortamında herhangi bir değişiklik yapılmaksızın sisteme kolayca entegre edilebilmektedir. Çalışma kapsamında İlk Gelen İlk Hizmet Alır (First-Come, First-Served - FCFS), En Kısa İş Önce (Shortest Job First - SJF) ve Zaman Dilimli (Round Robin - RR) zamanlama algoritmaları gerçekleştirilmiş ve aynı iş yükleri altında karşılaştırılmıştır. Simülasyonda süreçlerin sisteme geliş zamanları ve CPU çalışma süreleri sentetik olarak üretilmiş, tüm algoritmalar aynı süreç kümeleri üzerinde değerlendirilerek deneysel adalet sağlanmıştır. Performans değerlendirmesinde ortalama bekleme süresi, ortalama çevrim süresi, işlemci kullanım oranı, sistemin belirli bir sürede tamamladığı görev sayısının verimi (throughput) ve bağlam değiştirme sayısı temel ölçütler olarak kullanılmıştır. Önerilen simülasyon altyapısı, yalnızca klasik işlemci zamanlama algoritmalarının karşılaştırılması için değil, aynı zamanda gelecekte geliştirilecek yeni zamanlama politikalarının test edilmesi için de uygun bir deney ortamı sunmaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem işletim sistemleri eğitimi hem de zamanlama algoritmalarının deneysel olarak değerlendirilmesine yönelik araştırmalar için yeniden kullanılabilir ve genişletilebilir bir yazılım altyapısı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler : İşletim sistemleri, işlem yönetimi, zamanlama algoritmaları, FCFS, SJF, Round Robin

**A MODULAR AND EXTENSIBLE CPU SCHEDULING SIMULATION
FRAMEWORK FOR THE EXPERIMENTAL COMPARISON OF FCFS, SJF, AND
RR ALGORITHMS**

Dr. Öğr. Üyesi Ali Fatih Gündüz

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

fatih.gunduz@ozal.edu.tr - 0000-0002-3838-6813

ABSTRACT

Processor scheduling algorithms are among the core components in operating systems that ensure the efficient utilization of processor resources. Different scheduling algorithms can lead to significant variations in performance metrics such as waiting time, turnaround time, CPU utilization, and system throughput. In this study, a modular and extensible single-processor scheduling simulator has been developed to enable the comparison of classical processor scheduling algorithms within a common simulation environment. The designed simulation infrastructure consists of mutually independent components, namely process generation, process management, scheduler, and the simulation environment. Thanks to this architecture, different scheduling algorithms can be easily integrated into the system without requiring any modifications to the simulation environment itself. Within the scope of this study, First-Come, First-Served (FCFS), Shortest Job First (SJF), and Round Robin (RR) scheduling algorithms were implemented and compared under identical workloads. In the simulation, process arrival times and CPU burst times were generated synthetically, and experimental fairness was ensured by evaluating all algorithms on the same process sets. Average waiting time, average turnaround time, CPU utilization, system throughput, and the number of context switches were used as primary metrics for performance evaluation. The proposed simulation platform offers a suitable experimental environment not only for comparing classical processor scheduling algorithms but also for testing newly developed scheduling policies in the future. In this respect, the study provides a reusable and extensible software framework for operating systems education and for research aimed at the experimental evaluation of CPU scheduling algorithms.

Keywords: Operating systems, process management, scheduling algorithms, FCFS, SJF, Round Robin.

1. GİRİŞ

İşletim sistemlerinin en hayat görevlerinden birisi sistem üzerinde çalışan süreçlerin (process) CPU, RAM, ağ erişimi gibi kaynaklara erişimini yönetmektir. Bir program, diskte pasif bir halde durmaktayken işlemci tarafından çalıştırılıp yürütülmeye başlandığında süreç ismini alır. Tüm süreçler tekrar tekrar çalıştırıldıklarında kendilerine tahsis edilen stack, heap, program sayacı, yazmaç gibi alanlarda sakladıkları bilgiler sayesinde o anki durumlarını korur ve bağımsız bir süreç olurlar. İşletim sistemi, süreçlerle ilgili bilgileri Süreç Kontrol Bloğu (Process Control Block - PCB) denen veri yapılarında tutar [1]. Ne zaman yeni bir süreç oluşturulursa o sürece özel bir PCB kaydedilir. Süreç sonlandığında ise bu PCB bellekten silinir [2].

İşletim sistemi çekirdeği, bağlam değişimi (context switch) [3] gerçekleştirdiğinde, yani işlemciyi bir süreçten alıp başka bir sürece devrettiğinde, mevcut sürecin durumunu PCB'ye kaydeder ve yeni sürecin PCB'sinden gerekli bilgileri yükler. Bu mekanizma, çoklu programlama (multiprogramming) ortamlarında sistemin tutarlılığını koruyabilmesinin temel dayanağıdır. Bu sayede işlemci bir süreci başından sonuna kadar tutup bitmesini beklemek yerine diğer süreçlerle dönüşümlü bir şekilde işletebilir. Bu da bilgisayarların daha interaktif bir his vermesine ve kullanıcıları bunaltmamasına yarar.

Bir sürecin oluşturulmasından sonlanmasına kadar geçen yaşam döngüsünde beş temel durum vardır: Yeni (New), Hazır (Ready), Çalışan (Running), Bekleyen (Waiting) ve Sonlanmış (Terminated) [4]. Süreç, sisteme kabul edildiğinde "yeni" durumundan "hazır" durumuna geçer ve işlemci tarafından seçilmeyi bekler. Zamanlayıcı (scheduler) tarafından seçildiğinde "çalışan" durumuna geçer; bir giriş/çıkış işlemi talep ettiğinde veya bir olayın gerçekleşmesini beklediğinde "bekleyen" durumuna düşer. Bu durumlar arasındaki geçişler, işletim sisteminin süreç zamanlayıcısı tarafından yönetilir ve sistemin genel verimliliği büyük ölçüde bu geçişlerin ne kadar etkin yönetildiğine bağlıdır.

Süreç zamanlama (process scheduling), sınırlı sayıdaki işlemci kaynağının çok sayıda süreç arasında nasıl paylaştırılacağına karar veren mekanizmadır ve işletim sistemi tasarımının en kritik bileşenlerinden birini oluşturur. Zamanlama algoritmaları, temelde iki kategoriye ayrılır: kesintisiz (non-preemptive) ve kesintili (preemptive). Kesintisiz yaklaşımlarda, bir süreç işlemciyi ele geçirdiğinde kendi isteğiyle bırakana veya işini tamamlayana kadar işlemci üzerinde kalır; İlk Gelen İlk Hizmet Alır (First-Come-First-Served, FCFS) algoritması bu yaklaşımın klasik bir örneğidir ve süreçleri geliş sırasına göre işler. Yine En Kısa İş Öncelikli (Shortest Job First - SJF) algoritması, işletim sistemlerinde CPU zamanlaması için kullanılan en temel ve popüler kesintisiz algoritmalarından biridir. Buna karşılık, kesintili yaklaşımlarda işletim sistemi, önceden tanımlanmış kriterlere göre çalışmakta olan bir süreci durdurup işlemciyi başka bir sürece devredebilir; Döngüsel (Round Robin) zamanlama algoritması, her sürece sabit bir zaman dilimi (time quantum) tanıyarak adil bir paylaşım sağlamayı hedefleyen, kesintili zamanlamanın öne çıkan bir zamanlama algoritmasıdır.

Zamanlama algoritmalarının performansı çeşitli ölçütlerle [5] değerlendirilir: işlemci kullanım oranı (CPU utilization), birim zamanda tamamlanan süreç sayısı olan iş başarımı (Throughput), bir sürecin sisteme girişinden tamamlanmasına kadar geçen süre olan dönüş süresi (Turnaround

time), sürecin hazır kuyruğunda geçirdiği toplam süre olan bekleme süresi (Waiting time) ve etkileşimli sistemlerde özellikle önem taşıyan sürecin CPU kaynaklarına ilk kez erişimini ifade eden yanıt süresi (Response time). Zamanlayıcı sergilediği performansla CPU kullanımını artırmayı, bekleme süresini azaltmayı, yanıt süresini düşürmeyi, ortalama dönüş süresini azaltmayı, süreçlerin kaynak çakışmasını engellemeyi ve işlemler arasında adaleti sağlamayı hedefler.

2. DENEY ORTAMINDA İNCELENEN ZAMANLAMA ALGORİTMALARI

Bu çalışmada Python ortamında sentetik olarak oluşturulan süreçler yapay bir simülasyon ortamında üç farklı zamanlama algoritması ile denenmiştir. Söz konusu deneylerde tek bir işlemci olduğu kabul edilip, yapay süreçler arasında context switch sayıları incelenmiştir. Simülasyonda performansları incelenen zamanlama algoritmaları: İlk Gelen İlk Hizmet Alır (First Come First Served FCFS), En Kısa İş Öncelikli (Shortest Job First - SJF) ve Döngüsel (Round Robin)'dir.

2.1. İlk Gelen İlk Hizmet Alır

İlk Gelen İlk Hizmet Alır (First Come First Served - FCFS) algoritması, işletim sistemlerinde kullanılan zamanlama yöntemleri arasında en kolay ve pratik olanlardandır. Süreçleri hazır kuyruğuna (ready queue) giriş sıralarına göre işlemciye atar. Bu süreçte ek bir kriter başvurmaz ve süreç kendisi işlemciyi bırakana kadar onu durdurmaz [2].

FCFS algoritması uygulama kolaylığı sunmakla birlikte, kesintisiz (non-preemptive) yapısından ötürü kısa süreçlerin uzun süreçlerin arkasında beklemesine yol açar. Bu da ortalama bekleme süresini olumsuz etkileyebilir. Literatürde “Konvoy Etkisi” olarak adlandırılan bu durum FCFS'nin en çok eleştirilen yönüdür [2].

2.2. En Kısa İş Öncelikli

En Kısa İş Öncelikli (Shortest Job First - SJF) algoritması, hazır kuyruğunda bulunan süreçler arasından işlemciyi kullanma süresinin (CPU burst time) en kısa olanı öncelikli olarak seçmesine dayanır [2]. Algoritmanın temel varsayımı, her sürecin işlemciyi ne kadar süreyle kullanacağını önceden bilindiği veya en azından kestirilebildiğidir. Gerçek hayatta bu kabul %100 doğrulukla bilinmemekle birlikte, SJF diğer zamanlama stratejilerinin teorik performans üst sınırını belirlemede referans alınan bir model olarak da değerlendirilmektedir [6]. SJF kesintisiz (non-preemptive) bir algoritmadır ancak kesintili (preemptive) şekilde modifiye edilmiş bir versiyonu da (En Kısa Kalan Süre Önce (Shortest Remaining Time First, SRTF)) bulunmaktadır.

Algoritmanın en belirgin dezavantajı, kıtlık (starvation) sorununa yol açma potansiyelidir; hazır kuyruğuna sürekli olarak kısa işlemci çevirimine sahip yeni süreçlerin eklendiği bir sistemde, uzun işlemci çevirimine sahip bir süreç, işlemciye erişim sağlayamadan süresiz biçimde bekleyebilir [7]. Bu sorunun giderilmesi için literatürde yaşlandırma (aging) tekniği önerilmektedir; bu teknik, hazır kuyruğunda bekleme süresi uzayan süreçlerin önceliğinin

kademeli olarak artırılmasını öngörerek, uzun süreçlerin de belirli bir süre sonra işlemciye erişimini garanti altına almayı amaçlamaktadır.

2.3. Döngüsel

Döngüsel (Round Robin - RR) algoritması, özellikle zaman paylaşımli (time-sharing) sistemler için geliştirilmiş, kesintili (preemptive) nitelikte bir zamanlama algoritmasıdır. RR çalışma stratejisine göre [2, 6], her sürece işlemci üzerinde sabit ve önceden belirlenmiş bir zaman dilimi (time quantum veya time slice) boyunca hak tanınır. Bu süre sonunda süreç dairesel yapıdaki hazır kuyruğuna geri döner ve sırasını bekler. İşlemci kuyruktaki bir sonraki süreç ile devam eder.

RR algoritması ise, zaman diliminin uygun seçilmesi koşuluyla, adalet ve yanıt süresi açısından FCFS'e kıyasla daha dengeli bir performans sunar; ancak zaman diliminin çok küçük seçilmesi durumunda sık bağlam değişimlerinden kaynaklanan ek yük (overhead) sistem performansını düşürebilir. Zaman dilimi çok büyük seçildiğinde, algoritmanın davranışı pratik olarak FCFS algoritmasına yaklaşır; çünkü çoğu süreç, zaman dilimi dolmadan işlemci çevirimini tamamlayarak işlemciyi bırakır ve dolayısıyla döngüsel yapının sağladığı adalet avantajı ortadan kalkar [7]. Literatürde sıklıkla vurgulanan bir kural, zaman diliminin, tipik bir işlemci çeviriminin büyük bir kısmının tek bir dilim içinde tamamlanabileceği, ancak aşırı uzun olmayacağı bir denge noktasında belirlenmesi gerektiğidir; genel kabul gören öneri, zaman diliminin, süreçlerin işlemci çevirim sürelerinin yaklaşık %80'inin bir dilim içinde tamamlanmasına imkân verecek şekilde ayarlanmasıdır [2].

RR algoritmasının en belirgin avantajı, kıtlık (starvation) sorununa yol açmamasıdır; hazır kuyruğundaki her süreç, döngü sırası kendisine geldiğinde kesin olarak işlemciye erişim sağlar ve bu nedenle algoritma, özellikle etkileşimli (interactive) sistemlerde adalet ve öngörülebilirlik açısından tercih edilmektedir. Bununla birlikte, tüm süreçlere eşit öncelik tanınması nedeniyle, süreçlerin göreceli önem dereceleri veya kaynak ihtiyaçları arasındaki farklar dikkate alınmaz. Bu durum, öncelik tabanlı bir ayırımın gerekli olduğu sistemlerde algoritmanın esnekliğini sınırlandırmaktadır. Ayrıca ortalama bekleme süresi açısından RR algoritması, genellikle SJF algoritmasından daha düşük performans göstermektedir çünkü süreçlerin işlemci çevirim sürelerindeki farklılık gözetimeksizin eşit zaman dilimleri tahsis edilmesi, kısa süreçlerin de göreceli olarak daha uzun beklemesine neden olabilmektedir [2].

3. GÖZLEMLER VE DEĞERLENDİRME

Simulasyon ortamında toplam 100 süreç oluşturuldu. Bu süreçlerin en küçük ve en büyük burst time değerleri 1 ile 10 birim arasında rastgele belirlendi. Süreçler bekleme kuyruğuna en geç 20. birimde varacak şekilde rastgele belirlenen arrival_time değerlerinde kuyruğa eklendi. Tüm deneylerde aynı süreç setleri kullanıldı.

Çizelge 1. FCFS zamanlama algoritması ile elde edilen performans

Ölçüt	Değeri
CPU'nun ne kadar kullanıldığı	100.0 %
Birim zamanda tamamlanan süreç sayısı	0.18
Bir sürecin başlangıcından bitişine kadar geçen süre	262.53
Bekleme kuyruğunda geçen süre	257.02
İlk kez CPU aldığı ana kadar geçen süre	257.02
Context Switch sayısı	100

Çizelge 1’de FCFS algoritmasının sonuçları verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda bekleme süresi ile yanıt süresinin eşit olması, algoritmanın kesmesiz (non-preemptive) yapısıyla uyumludur. Bu bulgular, FCFS'nin basit ve düşük maliyetli bir zamanlama algoritması olmasına karşın, etkileşimli sistemler ve kısa süreçlerin yoğun olduğu iş yükleri için uygun olmadığını göstermektedir.

Çizelge 2. SJF zamanlama algoritması ile elde edilen performans

Ölçüt	Değeri
CPU'nun ne kadar kullanıldığı	100.0 %
Birim zamanda tamamlanan süreç sayısı	0.18
Bir sürecin başlangıcından bitişine kadar geçen süre	188.54
Bekleme kuyruğunda geçen süre	183.03
İlk kez CPU aldığı ana kadar geçen süre	183.03
Context Switch sayısı	100

Çizelge 2’de SJF algoritmasının sonuçları verilmiştir. Burada ortalama bekleme süresi, yanıt süresi ve dönüş süresinde yaklaşık %28’lik bir iyileşme gözlemlenmiştir. Bu sonuç, SJF algoritmasının kısa süreli süreçleri öncelikli olarak çalıştırması sayesinde Bekleme kuyruğunda oluşan bekleme süresini azaltmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla SJF, sistem kaynaklarını FCFS kadar verimli kullanırken kullanıcı açısından algılanan performansı önemli ölçüde artırmıştır. Bununla birlikte, algoritmanın CPU burst sürelerinin önceden bilinmesini gerektirmesi ve uzun süreçlerde starvation riskini barındırması pratik kullanımını sınırlayan temel dezavantajlarıdır.

Çizelge 3. RR (quantum time=3) zamanlama algoritması ile elde edilen performans

Ölçüt	Değeri
CPU'nun ne kadar kullanıldığı	100.0 %
Birim zamanda tamamlanan süreç sayısı	0.18
Bir sürecin başlangıcından bitişine kadar geçen süre	342.51
Bekleme kuyruğunda geçen süre	337.0
İlk kez CPU aldığı ana kadar geçen süre	129.27
Context Switch sayısı	219

Çizelge 3'te RR algoritması, time quantum = 3 kullanıldığında süreçlere işlemciyi kısa aralıklarla tahsis ederek ortalama ilk kez CPU alma zamanı olan response time değerini FCFS ve SJF algoritmalarına göre önemli ölçüde azaltmıştır. Bu durum, etkileşimli sistemlerde kullanıcı algısını iyileştiren önemli bir avantajdır. Bununla birlikte, sık gerçekleştirilen context switch işlemleri nedeniyle ortalama waiting time ve turnaround time değerleri artmış, context switch sayısı ise FCFS ve SJF algoritmalarının yaklaşık iki katına ulaşmıştır. Elde edilen bulgular, RR algoritmasının yanıt verebilirlik (responsiveness) ile zamanlama maliyeti (scheduling overhead) arasında bir denge kurduğunu ve quantum değerinin bu dengeyi belirleyen en önemli parametre olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4. RR (quantum time=6) zamanlama algoritması ile elde edilen performans

Ölçüt	Değeri
CPU'nun ne kadar kullanıldığı	100.0 %
Birim zamanda tamamlanan süreç sayısı	0.18
Bir sürecin başlangıcından bitişine kadar geçen süre	309.62
Bekleme kuyruğunda geçen süre	304.11
İlk kez CPU aldığı ana kadar geçen süre	215.16
Context Switch sayısı	135

Çizelge 4'te görüldüğü üzere quantum time değerinin 3'ten 6'ya çıkarılması, RR algoritmasının zamanlama maliyetini önemli ölçüde azaltmıştır. Context switch sayısı 219'dan 135'e düşerken,

ortalama bekleme ve dönüş sürelerinde de iyileşme sağlanmıştır. Buna karşılık, süreçlerin CPU'ya ilk erişim süresi uzamış ve response time değeri artmıştır. Bu sonuçlar, quantum değeri büyüdükçe Round Robin'in daha az kesmeli çalıştığını ve davranışının FCFS algoritmasına yaklaştığını göstermektedir. Bu nedenle, Round Robin algoritmasının başarısı büyük ölçüde seçilen quantum değerine bağlıdır ve uygun quantum seçimi, sistemin kullanım amacına göre belirlenmelidir.

4. SONUÇ

Tek işlemcili simülasyonumuzda CPU hiç boş kalmadığı için kullanım yüzdesi tüm deneylerde %100 olmuştur. Birim zamanda tamamlanan süreç sayısı 0,18 olarak sabit çıkmıştır çünkü sentetik context switch işlemleri zaman almayacak şekilde tasarlanmıştır. Gerçek şartlarda bu mümkün değilse de simülasyondaki Dispatcher birimi 0 kayıpla görev yaptığı varsayılmıştır. Bunda ayrıca süreçlerin Girdi/Çıktı işlemleri yapmaması da rol oynamıştır. Toplam birim zamanın tamamı toplam 100 sürecin tamamlanmasında kullanmış ve bu sonuç elde edilmiştir.

Süreçlerin sistemde kalma süresi (Turnaround) ve CPU beklerken geçirdikleri süre (Waiting) açısından algoritmaların performansı tam da teoride beklendiği gibi $SJF < FCFS < RR$ olacak şekilde sıralanmıştır. SJF kısa işleri öne alarak uzun işlerin arkada oluşturduğu kuyruk yoğunluğunu çözmüştür ve en iyi süreli performansla öne çıkmıştır.

RR ile süreçler sürekli bölünüp döngüsel olarak tekrar kuyruğa girdiği için, işlerin tamamlanması zamana yayılmış ve ortalama Turnaround/Waiting süreleri ciddi şekilde yükselmiştir. RR için Response Time diğer tüm algoritmalarından belirgin şekilde daha düşüktür. Bu olgu, RR'in Windows, Linux gibi işletim sistemlerinde tercih edilmesinin nedenidir.

FCFS ve SJF algoritmalarının bekleme kuyruğunda geçen süre ile ilk kez CPU aldığı ana kadar geçen süre aynı çıkmıştır. Bunun sebebi iki algoritmanın da Kesintisiz (Non-preemptive) yapıda çalışmasıdır. Bunun anlamı toplam 100 sürecin her birinin CPU'ya bir kez girmiş ve işini bitirip çıkmış olmasıdır. Ekstra bir bölünme (preemption) yaşanmamıştır. context switch sayıları da doğal olarak 100'dür. RR içinse quantum_time arttıkça context switch sayısı 219'dan 135'e düşmüştür.

KAYNAKÇA

1. Krzyzanowski, Paul. "Process scheduling." Process Scheduling. February 28 (2015): 2015.
2. Silberschatz, Avi, Peter Baer Galvin, and Greg Gagne. "Operating System Concepts. – John Wiley & Sons." (2018).
3. Kumar, Avinash, et al. "Context Switching for Secure Multi-programming of Near-Term Quantum Computers." arXiv preprint arXiv:2504.07048 (2025).
4. Ferme, Vincenzo, and Cesare Pautasso. "A declarative approach for performance tests execution in continuous software development environments." Proceedings of the 2018 ACM/SPEC international conference on performance engineering. 2018.

5. Tajwar, Mohammad M., et al. "CPU Scheduling with a Round Robin Algorithm Based on an Effective Time Slice." *Journal of Information processing systems* 13.4 (2017).
6. Stallings, W. (2018). "Operating Systems: Internals and Design Principles" (9th ed.). Pearson.
7. Tanenbaum, A. S., & Bos, H. (2015). "Modern Operating Systems" (4th ed.). Pearson.

PSYCHOMETRIC EVALUATION OF THE BREAST CANCER STRESS SCALE IN WOMEN WITH NEWLY DIAGNOSED BREAST CANCER

Prof. Dr. Behice ERCİ

İnönü Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, behice.erci@inonu.edu.tr

ID: 0000-0002-1527-2207

ABSTRACT

This study aimed to adapt the psychometric evaluation of the breast cancer stress scale in women with newly diagnosed breast cancer and to evaluate the validity and reliability of the Turkish version.

The study is an adapted instrument with a psychometric design for women with newly diagnosed breast cancer. The participants of this study were women with newly diagnosed breast cancer receiving inpatient and outpatient treatment in the oncology clinics of three hospitals. The minimum sample size was determined as 223 patients. Patients were randomly selected from among newly diagnosed breast cancer patients. The researcher visited the oncology clinics five working days a week and conducted interviews with the patients. Data was collected from the patients until the sample size was reached. The questionnaire was explained to the participants, then they read it and marked their answers on paper. Completing the questionnaire took approximately 15-20 minutes and was understandable even for individuals with minimal reading skills. In this study, four factors were identified in the principal component analysis. The factor loadings of the items ranged from 0.55 to 0.82. The factor loadings of the items are sufficient and explain 68.87% of the total variance. The Cronbach α value of the total scale is 0.78.

The validity and reliability of the "Breast Cancer Stress Scale" in women with newly diagnosed breast cancer have been determined. Healthcare professionals can use the scale to assess the stress level of newly diagnosed breast cancer patients. This scale can determine the stress level of breast cancer patients.

Keywords: breast cancer, questionnaires, stress, validity, reliability

YENİ TANILI MEME KANSERLİ KADINLARDA MEME KANSERİ STRES ÖLÇEĞİNİN PSİKOMETRİK DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, yeni tanı konulmuş meme kanseri olan kadınlarda meme kanseri stres ölçeğinin psikometrik değerlendirmesinin uyarlanması ve Türkçe versiyonunun geçerlilik ve güvenilirliğinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma, yeni tanı konulmuş meme kanseri olan kadınlar için psikometrik bir tasarımla uyarlanmış bir araçtır. Bu çalışmanın katılımcıları, üç hastanenin onkoloji kliniklerinde yatarak ve ayakta tedavi gören yeni tanı konulmuş meme kanseri kadınlarıdır. Minimum örneklem büyüklüğü 223 hasta olarak belirlenmiştir. Hastalar, yeni tanı konulmuş meme kanseri hastaları arasından rastgele seçilmiştir. Araştırmacı, her hafta beş iş günü onkoloji kliniklerini ziyaret ederek hastalarla görüşmeler yapmışlardır. Örneklem büyüklüğüne ulaşılan kadar hastalardan veri toplanmıştır. Anket katılımcılara açıklanmış, ardından okuyup cevaplarını kağıtlara işaretlemişlerdir. Anketin tamamlanması yaklaşık 15-20 dakika sürdü ve okuma becerisi minimum düzeyde olan kişiler tarafından bile anlaşılabilir nitelikteydi.

Bu çalışmada, temel bileşenlerin analizinde dört faktör belirlendi. Maddelerin faktör yükleri 0,55 ile 0,82 arasında değişmektedir. Maddelerin faktör yükleri yeterlidir ve toplam varyansın %68,87'sini açıklamaktadır. Ölçeğin toplamının Cronbach α değeri 0,78'dir.

Yeni teşhis konmuş meme kanserli kadınlarda "meme kanseri stres ölçeğinin" geçerliliği ve güvenilirliği belirlenmiştir. Sağlık profesyonelleri, yeni teşhis konmuş meme kanseri hastalarının stres düzeyini değerlendirmek için ölçeği kullanabilir. Bu ölçek ile meme kanseri hastasının stresi belirlenebilir.

Anahtar Kelimeler: meme kanseri, anketler, stres, geçerlilik, güvenilirlik

GİRİŞ

Meme kanseri, kadınlar için küresel ölçekte en önemli sağlık sorunlarından biridir. Dünya genelinde 685.000 ölümlle beşinci önde gelen kanser ölüm nedenidir (Sung ve ark., 2021). Türkiye'de meme kanseri görülme sıklığı ikinci sırada yer almaktadır. Kadınlarda en sık görülen meme kanserinin görülme sıklığı %23,9'dur ve yeni vakalar arasında meme kanseri görülme sıklığı %10,3 oranında iyileşme ve %4,89 oranında kötüleşme riski bulunmaktadır. Ölüm oranı ise %5,7'dir (GLOBOCAN, 2020). Meme kanseri atlatanların sayısı giderek artmakta ve hastalık nedeniyle birçok psikolojik sorun yaşayabilmektedirler. Ayrıca, kanser tedavisi hastanın yaşamını uzun süre aksatabilir. Genel olarak, kanser hastanın yaşamını etkileyen kronik bir stres faktörü olarak kabul edilmektedir (Mehrabı ve ark., 2015).

Kanser tanısının hastaların yaşamlarının psikolojik, sosyal, fiziksel ve manevi boyutları da dahil olmak üzere farklı boyutlarını etkilediği ve yaşam kalitesi üzerinde uzun süreli etkiler bıraktığı

bildirilmiştir. Örneğin, kanser tanısı genellikle hastalar için kanserle ilgili istenmeyen düşünceler gibi sorunlara yol açar ve kaygı, umutsuzluk ve çaresizlik, ölüm korkusu, yalnızlık ve cinsellik duyguları ve vücut imajı sorunları gibi duygusal tepkilere ve psikolojik zorluklara neden olabilir (Mehrabi ve ark., 2015).

Çalışmalar, yeni teşhis edilen meme kanseri vakalarının %31 ila %54'ünün uyku sorunları yaşadığını göstermiştir. Teşhisten sonraki 6 aya kadar sorunlar yaşanabilir. Bu bağlamda, uyku ve stresin 13 birbiriyle ilişkili modalite olduğu ve stresin 14 uyku problemine önemli bir katkıda bulunduğu belirtilmiştir. Öte yandan, stres depresyona da katkıda bulunur, duygusal, işlevsel ve iletişimsel bozukluklara yol açar ve yaşam memnuniyetini azaltır (Rezaei ve ark., 2019). Stres, kanserin ilerlemesinde önemli bir faktör gibi görünmektedir (Gosain ve ark., 2020). Bir çalışmada, meme kanserli kadınlarda algılanan stres prevalansının %78,1 olduğu bildirilmiştir (Alagizy ve ark., 2020).

Kanser teşhisi, tedavisi ve uzun süreli yönetimi, bireyleri bu sürecin çeşitli noktalarında çok sayıda stres faktörüyle karşı karşıya bırakabilir. Psikososyal sıkıntı, teşhis sürecinin başlarında ortaya çıkabilir ve tedaviye uyumu olumsuz etkileyebilir (Chirico ve ark., 2015). Bu çalışma, yazarların yeni teşhis konmuş meme kanseri hastalarının stres algılarını ölçtüğüne inandıkları yeni geliştirilen anketin güvenilirliğini ve geçerliliğini belgelemek amacıyla yapılmıştır. Bu ölçeğin kullanımı hastaların ve klinik sağlık profesyonellerinin hastaların psikolojik, fizyolojik, davranışsal ve bilişsel stres algılarını daha iyi anlamalarına ve hastanın hastalığı için daha etkili bir bakım planı geliştirmelerine yardımcı olacaktır.

Bu çalışmanın amacı, yeni teşhis konmuş meme kanseri hastalarında meme kanseri stres ölçeğinin psikometrik değerlendirmesini uyarlamaktır.

MATERYAL METOT

Çalışmanın Tasarımı

Bu çalışmada, uyarlanmış aracı test etmek için psikometrik yöntemler kullanılmıştır. Uyarlanmış ölçeğin kalitesini sağlamak için, uyarlama sırasında uluslararası normlar uygulanmıştır.

Katılımcılar

Bu çalışmanın katılımcıları, Türkiye'nin doğusundaki üç hastanenin ayakta ve yatarak tedavi gören onkoloji polikliniklerinde yeni teşhis edilmiş meme kanseri hastalarıdır. %0,05 hata, %0,95 güven aralığı, %0,5 etki büyüklüğü ve %0,95 popülasyon temsili ile güç analizi yapılmış ve minimum örneklem büyüklüğünün 223 hasta olduğu belirlenmiştir. Hastalar, yeni teşhis edilmiş meme kanseri hastaları arasından rastgele seçilmiştir. Bu nedenle, evrendeki her bireye eşit seçilme olasılığı vermek için rastgele olasılık örnekleme yöntemi ile basit rastgele örnekleme yapılmıştır. Katılımcıların seçiminde kullanılan kriterler şunlardır: (1) 18 yaş ve üzeri, (2) hasta kayıtlarından belirlenen psikiyatrik hastalık öyküsünün olmaması ve (3) iletişim kurma yeteneği (sözlü ve yazılı).

Veri Toplama Araçları

Çalışmada, veriler araştırmacı tarafından hazırlanan Tanımlayıcı Özellikler formu ve Yeni Tanı Konmuş Meme Kanseri Stres Ölçeği kullanılarak toplanmıştır.

Tanımlayıcı Özellikler Formu: Araştırmacı tarafından geliştirilen bu form, hastaların sosyodemografik özelliklerini belirleyen 10 sorudan oluşmaktadır.

Yeni Tanı Konmuş Meme Kanseri Stres Ölçeği: Ölçek dördümlük likert türündedir. Tamamen katılıyorum, 3; çoğunlukla katılıyorum, 2; az çok katılıyorum, 1; katılmıyorum, 0. Daha yüksek puan daha fazla stresi temsil eder. 1, 3, 5, 11, 13 ve 15. sorular ters sorulardır. Ölçek, meme kanseri stresiyle ilgili olarak klinik kullanışlılıklarını göstermiştir Ölçeğin dört faktörü vardır.

Dört ana bileşen, “ağır psikolojik yük”, “Kontrol Edilemeyen Algılar”, “Öngörülemeyen” ve “Zorlu Algılarla Yüzleşme”. Ölçeğin alfa katsayısı 0,84’tür (Lee ve ark., 2013).

Verileri Toplama

Araştırmacı, her hafta beş iş günü onkoloji kliniklerini ve polikliniklerini ziyaret ederek hastalarla görüşmeler yaptı. Örneklem büyüklüğüne ulaşılan kadar hastalardan veri toplandı. Anket katılımcılara açıklandı, sonra hastalar okudular ve cevaplarını kağıtlara işaretlediler. Anketin tamamlanması yaklaşık 15-20 dakika sürdü ve minimum okuma becerisine sahip kişiler tarafından anlaşılabilir nitelikteydi. Tüm katılımcılar anketi tamamladı.

İstatistiksel Analiz

Çalışmanın istatistiksel analizinde, madde-toplam korelasyon puanlarını belirlemek için Pearson korelasyonu kullanıldı. İçerik geçerliliği için Kendall W analizi yapıldı. Ölçeğin faktör analizine geçmeden önce, örneklem büyüklüğünün faktör analizi için yeterli olup olmadığını değerlendirmek için KMO ve Bartlett testi hesaplandı. Yapı geçerliliği için Varimax rotasyonu ve faktör analizi yapıldı. İç tutarlılık için Cronbach α katsayısı hesaplandı.

Etik İlkeler

Lee ve ark. (2013) tarafından geliştirilen Ölçeğinin Türkçe uyarlaması için gerekli yazışmalarla izin alındı. Çalışmayı yürütmek için İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan etik onay alındı. Araştırma için iki Hastane Başhekiminden kurum izni alındı. Araştırmacılar, katılımcıları çalışmanın amacı, araştırma faaliyetleri, potansiyel faydaları ve riskleri ile herhangi bir soruyu yanıtlamayı reddetme ve görüşmeye katılımlarını istedikleri zaman sonlandırma hakları hakkında bilgilendirdiler. Araştırmacı, anketi uygulamadan önce katılımcıların yazılı veya sözlü (tercihlerine göre) onayını aldı.

BULGULAR

Katılımcıların ortalama yaşı $44,83 \pm 9,89$ yıldır. Katılımcıların %82,1'inin evli, %50,7'sinin lise mezunu ve %52,5'inin orta gelirli olduğu belirlenmiştir. Tanı süresi $2,68 \pm 1,23$ yıl olarak belirlenmiştir.

Geçerlilik

İçerik Geçerliliği

17 maddeden oluşan çevrilmiş ölçek, maddelerin uygunluğu ve ifade biçimi açısından uzman panel tarafından değerlendirilmiştir. Uzmanlar hiçbir madde için öneride bulunmamıştır. Ölçeğin Türkçe versiyonunun son revizyonu tamamlanmıştır. CVI 0,92 olarak hesaplanmıştır. Böylece ölçeğin Türk toplumu için kapsam geçerliliği sağlanmıştır.

Yapısal Geçerlilik

Ölçeğin faktör yapısı için temel bileşenler analizi kullanılmıştır. Hesaplanan KMO değeri 0,906 olup p değeri <0,000'dır; bu da örneklem büyüklüğünün varimax rotasyonu ile tatmin edici bir temel bileşen analizi gerçekleştirmek için yeterli olduğunu göstermektedir.

Table 1. KMO and Bartlett's Test Sonuçları

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy			.906
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	2199.115	
	df	136	
	Sig.	.000	

Faktör analizinin ilk adımı temel bileşenler analizidir.

Tablo 2. Ölçek maddelerinin faktör yükleri, Cronbach α , açıklanan varyans ve maddeler arası korelasyonları

Madde ve Ölçek Yükleri	Faktör Faktör Yükü	Düzeltilmiş Madde-Total Korelasyon	Madde Alfa katsayıları	% of Variance
Ağır Psikolojik Yük			.82	22.27
1. Sık sık ağlıyorum	.672	.531	.764	
2. Hastalık ailem için endişelenmeme neden oluyor	.611	.629	.760	
3. Meme kaybı hayatımı etkileyecek	.668	.706	.748	
4. Korku, kaygı ve depresyon yaşıyorum	.754	.760	.742	
5. Hastalık işim için endişelenmeme neden oluyor	.771	.546	.761	

Kontrol Edilemeyen Algılar		.82	20.24
6. Kolumun ağır ağırlık kaldıramayacağından ve bunun hayatımı ve işimi etkileyeceğinden endişeleniyorum	.742 .773	.751	
7. Ekonomik durumumun gerekli tıbbi masrafları karşılayamayacağından endişeleniyorum	.558 .519	.764	
8. Meme kanseri tedavim için karar veremiyorum	.650 .519	.764	
9. Kanserle mücadele yolunun yalnız, zor ve destek eksikliği olduğunu düşünüyorum	.739 .656	.751	
Öngörülemezlik		.64	18.82
10. Hastalığın ilerleyişinin belirsizliğinden çok endişeleniyorum	.564 .614	.759	
11. Kemoterapinin neden olduğu yan etkilerden endişeleniyorum: fiziksel rahatsızlık, görünüm değişikliği veya gelecekteki doğum planları vb.	.596 .494	.769	
12. Meme kaybı partnerime olan çekiciliğimi etkileyecek	.822 .211	.788	
13. Yetersiz meme kanseri bilgisi beni korkutuyor	.586 .648	.755	
Zorlu Algılarla Yüzleşmek		.83	7.53
14. Meme kanseri teşhisini kabul edebilirim	.685 .614	.805	
15. Uygun düzenlemeler yapabiliyorum ve hastalıktan	.793 .494	.824	

etkilenen şeylerle başa çıkabiliyorum			
16. Meme kanserinin evrelemesini kabul edebiliyorum	.780	.211	.815
17. Kanserle başa çıkmak için bazı uyum yöntemleri kullanıyorum	.720	.648	.822
Total		.78	68.87

Faktör analizinde, faktör sayısını belirlemek için 1'den büyük özdeğerler kullanılmıştır. Çapraz yükleme bulunmamıştır. Analiz, 1'den büyük özdeğere sahip dört faktör göstermiştir (Tablo 2). 17 maddenin faktör yükleri 0,30'un üzerindedir ve 0,55 ile 0,82 arasında değişmektedir. Toplam ölçekteki ve faktörlerindeki varyanslarını açıklamak için temel bileşenler analizi kullanılmıştır. Dört faktör, varyansın %68.87'sini açıklamıştır.

Birinci faktörün Ağır Psikolojik Yük alt ölçeği ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu faktör varyansın %22,27'sini açıklamaktadır. Birinci faktör için madde yükleri 0,61 ile 0,77 arasında değişmiştir. İkinci faktör, Kontrol Edilemeyen Algılar alt ölçeğiyle olan ilişkidir. Bu ikinci faktör, toplam varyansın %20,24'ünü açıklamaktadır ve faktördeki madde yükleri 0,55-0,74'e yükselmiştir. Üçüncü faktör, Öngörülemez alt ölçeğe bağlıdır ve toplam varyansın %18,82'sini açıklamaktadır; bu faktör için madde yükleri 0,56 ile 0,82 arasında değişmektedir. Dördüncü faktör, Zorlayıcı Algılarla Karşılaşma olup, toplam varyansın %7,53'ünü açıklamaktadır. Bu faktörün madde yükleri 0,68 ile 0,79 arasındadır (Tablo 2).

Güvenilirlik

İç tutarlılık

Ölçeğin güvenilirliği için korelasyon ve alfa değeri hesaplanmıştır. Yeni Tanı Konmuş Meme Kanseri Stres Ölçeği'nin genel α katsayısı 0,78'dir ve dört faktörün α değerleri 17 madde için 0,64 ile 0,82 arasında değişmektedir (Tablo 3). Alfa değerleri 0,74–0,82 olup, 17 madde için α katsayı değerleri tatmin edicidir. Düzeltilmiş madde-toplam korelasyonları kabul edilebilir düzeydedir, madde-toplam korelasyonları 0,21 ile 0,77 arasında değişmekte ve madde-toplam korelasyonları yeterli düzeydedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Yeni Tanı Konmuş Meme Kanseri Stres Ölçeği'nin meme kanseri hastalarında geçerliliği ve güvenilirliğinin, meme kanseri hastalarında kullanılabilmesine olanak sağladığı bulunmuştur. Tüm sağlık profesyonelleri, yeni tanı konmuş meme kanseri hastalarının stres düzeyini değerlendirmek için bu ölçeği kullanabilirler. Bu ölçek sayesinde, meme kanseri hastasının stresi belirlenebilir ve ihtiyaç duyduğu bakım planlanıp uygulanabilir.

KAYNAKÇA

- Alagizy, H.A., Soltan, M.R., Soliman, S.S., Hegazy, N.N., Gohar, S.F., 2020. Anxiety, depression and perceived stress among breast cancer patients: single institute experience. *Mid. East. Cur. Psychiatr.* 27, 29.
- Chirico, A., Lucidi, F., Mallia, L., D'Aiuto, M., Merluzzi, T.V., 2015. Indicators of distress in newly diagnosed breast cancer patients. *PeerJ*, 3:e1107.
- GLOBOCAN. GLOBOCAN 2020 Database. <https://gco.iarc.fr/>
- Gosain, R., Gage-Bouchard, E., Ambrosone, C., Repasky, E., Gandhi, S., 2020. Stress reduction strategies in breast cancer: review of pharmacologic and non-pharmacologic based strategies. *Seminars Immunopathol.* 42, 719-734.
- Lee, T.Y., Chen, H.H., Yeh, M.L., Li, H.L., Chou, K.R. 2013. Measuring reliability and validity of a newly developed stress instrument: Newly Diagnosed Breast Cancer Stress Scale. *J. Clin. Nurs.* 22, 2417-2425.
- Mehrabi, E., Hajian, S., Simbar, M., Hoshyari M., Zayeri F. 2015. Coping response following a diagnosis of breast cancer: A systematic review. *Electronic Physician*, 7, 1575-1583.
- Rezaei, M., Elyasi, F., Hamzehgardeshi, Z., Janbabai G., Moosazadeh, M., 2019. Supportive approaches to stress management in patients with breast cancer: A systematic review. *Arch Breast Cancer*, 6, 6-16. doi: 10.32768/abc.2019616-16
- Sung, H., Ferlay, J., Siegel, R.L., Laversanne, M., Soerjomataram, I., Jemal, A., Bray, F. 2021. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA A Cancer J. Clin.* 71, 209-249.

SMARTPHONE ADDICTION AMONG UNIVERSITY STUDENTS

Prof. Dr. Behice ERCİ

İnönü Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, behice.erci@inonu.edu.tr

ID: 0000-0002-1527-2207

ABSTRACT

It is stated that university students are more prone to technological addictions. Individuals in this age group are observed to be reluctant to part with their smartphones, constantly wanting to carry them, intensely focusing their attention on their phones in every situation and at all times, and turning this into an obsession. This research was conducted descriptively. The population of the study consists of students from the faculties, colleges, and vocational schools of a university in eastern Turkey. To adequately represent the population, the sample size was determined as 520 students using power analysis. The number of students to be included from faculties and colleges was determined by proportionally considering the weight of these schools in the population. Simple random sampling was used to select the determined number of students from these schools. Data were collected between February and May 2024. A demographic characteristics form and the Smartphone Addiction Scale were used to determine the level of smartphone addiction. Descriptive statistics, independent samples t-test, and analysis of variance were used in the evaluation of the data.

The mean score on the Smartphone Addiction Scale was found to be 101.13 ± 29.54 . It was determined that the age of university students, their mother's education level, and the frequency of daily smartphone checks affected their smartphone addiction. The study found that students had a moderate level of smartphone addiction. It is recommended that university students receive training and counseling to reduce their level of smartphone addiction.

Keywords: Adolescent, Smartphone, Addiction, Descriptive Characteristics

ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE AKILLI TELEFON BAĞIMLILIĞI

ÖZET

Üniversite öğrencileri teknolojik bağımlılıklara karşı daha eğilimli oldukları ifade edilmektedir. Bu dönemdeki bireylerin sahip oldukları akıllı telefonlarını yanlarından ayırmak istemedikleri, sürekli ellerinde taşımak istedikleri, her ortam ve zamanda telefonlarına bakmak, göz atmak gibi dikkatini yoğun bir şekilde telefona yönelttikleri ve bunu tutku haline getirdikleri gözlemlenmektedir.

Bu araştırma tanımlayıcı olarak yapılmıştır. Araştırmanın evreni, doğudaki bir üniversitenin fakülte, yüksekokul ve meslek yüksekokullarının öğrencilerinden oluşmaktadır. Evreni yeterli düzeyde temsil etmesi için örneklem büyüklüğü güç analizi ile 520 öğrenci olarak

belirlenmiştir. Fakülte ve yüksekokullardan alınacak öğrenci sayısı bu okulların evrendeki ağırlıkları ile orantılandırılarak belirlenmiştir. Bu okullardan belirlenen sayıda öğrenci alınmasında ise basit rastgele örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Veriler Şubat- Mayıs 2024 tarihleri arasında toplanmıştır. Veri toplanmasında tanıtıcı özellikler formu ve akıllı telefon bağımlılık düzeyini belirlemek için Akıllı Telefon Bağımlılığı Ölçeği kullanılmıştır. Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistik bağımsız gruplarda t testi, varyans analizi kullanılmıştır. Akıllı Telefon Bağımlılığı Ölçeği puan ortalamasının da 101.13 ± 29.50 olduğu tespit edilmiştir. Üniversite öğrencilerinin yaş, anne eğitim düzeyi ve günlük akıllı telefon kontrol sıklığı ile akıllı telefon bağımlılığını etkilediği belirlenmiştir.

Araştırmada öğrencilerin orta düzeyde akıllı telefon bağımlılığı olduğu tespit edilmiştir. Üniversite öğrencilerine akıllı telefon bağımlılık düzeyini düşürecek eğitim ve danışmanlık yapılması önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: Adölesan, akıllı Telefon, Bağımlılık, tanıtıcı özellikler

GİRİŞ

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesiyle birlikte, akıllı telefonların kullanımları gün geçtikçe artmaktadır. Bu telefonların insanların yaşamlarında çok fazla faydalı yönleriyle hayatı kolaylaştırmalarının yanında çok fazla kullanılmaları sonucunda insanlarda psikososyal ve fiziksel olumsuz durumları beraberinde getirmektedir. Bağımlılık haline gelebilen akıllı telefon kullanımı giderek önemli bir problem olmaktadır (Allred ve Atkin, 2020). İnsanların toplumsallaşmalarına imkân veren akıllı telefonların gereğinden fazla ve kontrol edilemeyen şekilde kullanımı davranışsal bir bağımlılık çeşidi olan akıllı telefon bağımlılığına sebep olmaktadır (Minaz 2017; Zhang ve ark. 2019). Akıllı telefon bağımlılığına katkıda bulunan çeşitli faktörler arasında psikolojik kırılganlık, kişilik özellikleri, stres, yalnızlık ve çevresel etkiler yer almaktadır (Daniel ve ark. 2026).

Adölesan bireylerin teknolojik bağımlılıklara karşı daha eğilimli oldukları ifade edilmektedir (Xiong ve ark. 2023). Adölesan dönemdeki bireylerin sahip oldukları akıllı telefonlarını yanlarından ayırmak istemedikleri, sürekli ellerinde taşımak istedikleri, her ortam ve zamanda telefonlarına bakmak, göz atmak gibi dikkatini yoğun bir şekilde oraya yönelttikleri ve bunu tutku haline getirdikleri görülmüştür. Bu durumun adölesanların davranış şekilleri, iletişim biçimi, öğrenim faaliyetleri ve dikkat performanslarını da olumsuz etkilediği görülmektedir (Sala 2024; Bai 2020). Modern toplumda akıllı telefonların yaygın kullanımı, insanların günlük yaşamlarını zenginleştirirken, internet çağına özgü psikolojik ve davranışsal sorunları da beraberinde getirmektedir (Xiong et al. 2023; Billieux ve ark. 2015).

Bu araştırmanın sonuçlarının insan hayatının kritik dönemlerinden biri olan adölesan dönemine ilişkin, adölesan sağlığının değerlendirilmesi ve risk faktörlerinin belirlenmesi, adölesan sağlığını korunması ve geliştirilmesi açısından literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu araştırma ile adölesanlara ilişkin akıllı telefon bağımlılık düzeylerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Bu araştırma tanımlayıcı olarak yapılmıştır. Araştırmanın evreni, doğudaki bir üniversitenin fakülte, yüksekokul ve meslek yüksekokullarının öğrencilerinden oluşmaktadır. Evreni yeterli düzeyde temsil etmesi için örneklem büyüklüğü güç analizi (%95 güven aralığı, %95 evreni temsil gücü ve 0.05 alfa düzeyi) ile 520 öğrenci olarak belirlenmiştir. Fakülte ve yüksekokullardan alınacak öğrenci sayısı bu okulların evrendeki ağırlıkları ile orantılandırılarak belirlenmiştir. Bu okullardan belirlenen sayıda öğrenci alınmasında ise basit rastgele örnekleme yöntemi kullanılmıştır.

Veri toplanmasında tanıtıcı özellikler formu ve akıllı telefon bağımlılık düzeyini belirlemek için Akıllı Telefon Bağımlılığı Ölçeği kullanılmıştır.

Akıllı Telefon Bağımlılığı Ölçeği (ATBÖ)

Akıllı telefon bağımlılığı Kwon ve ark., tarafından geliştirilen 6'lı likert tipi olan bu ölçek 33 sorudan oluşmaktadır. Türkçe uyarlaması Demirci ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılmıştır (Demirci ve ark. 2014). Ölçekte ters madde bulunmamakta ve ölçek maddeleri için; kesinlikle hayır (1), hayır (2), kısmen hayır (3), kısmen evet (4), evet (5) kesinlikle evet (6) puan almaktadır. Ölçeğin güvenilirlik çalışmalarında alfa güvenilirlik katsayısı 0.947 olarak bulunmuştur Ölçek kendi içinde yedi faktörden oluşmaktadır. En düşük puanı 33, en yüksek puanı 198'dir. Yüksek puan riskli akıllı telefon kullanıcısı olarak bağımlılığı göstermektedir. Bu çalışmada alfa katsayısı 0.94 olarak bulunmuştur.

Veriler Şubat- Mayıs 2024 tarihleri arasında toplanmıştır. Veri toplama araçları öğrencilere araştırmacının kendisi tarafından sınıf ortamında uygulanmış, doldurulan anketler araştırmacı tarafından toplanmıştır. Anketlerin uygulanması ortalama yirmi dakika sürmüştür.

Verilerin değerlendirilmesinde tanımlayıcı istatistik bağımsız gruplarda t testi, varyans analizi kullanılmıştır.

Araştırmanın yapılabilmesi için etik onay ve gerekli izin alınmıştır. Araştırmacı öğrenciler araştırmanın konusu, önemi, amaçları, form ve ölçeği nasıl cevaplandıracakları, çalışmaya katılıp katılmama konusunda özgür oldukları belirtilmiştir. Verilerin araştırma dışında başka amaçla kullanılmayacağı açıklanmıştır.

BULGULAR

Tablo 1'de görüldüğü gibi Araştırma kapsamına alınan adölesan öğrencilerin sosyo-demografik özelliklerinin dağılımı incelendiğinde, %59.6'nın kadın, %68.6'nın 20-22 yaş aralığında, %46.2'nin annesinin okur yazar olmadığı, %46.2'nin babasının ilköğretim mezunu, %58.1'nin anne baba tutumunun anlayışlı olduğu, %70.6'nın aile gelir durumunun iyi düzeyde olduğu belirlendi.

Tablo 1. Adölesan Bireylerin Sosyo-Demografik Özelliklerine Göre Dağılımı

Sosyo-Demografik Özellikler	S	%
Cinsiyet		
Kadın	310	59.6
Erkek	210	40.4

Yaş		
17-19	123	23.6
20-22	357	68.6
23-24	40	7.8
Anne Eğitim Düzeyi		
Okur yazar değil	240	46.2
İlkokul mezunu	180	34.7
Ortaokul mezunu	45	8.6
Lise mezunu	30	5.7
Üniversite mezunu	25	4.8
Baba Eğitim Düzeyi		
Okur yazar değil	46	8.8
İlkokul mezunu	240	46.2
Ortaokul mezunu	118	22.7
Lise mezunu	76	14.6
Üniversite mezunu	40	7.7
Anne-Baba Tutumu		
Baskıcı	20	3.8
Aşırı koruyucu	50	9.6
Mükemmel	126	24.3
İlgisiz	22	4.2
Anlayışlı	302	58.1
Aile Gelir Düzeyi		
Çok Kötü	20	3.8
Kötü	105	20.1
İyi	367	70.6
Çok iyi	28	5.5

Ayrıca öğrencilerin akıllı telefon kullanım özellikleri incelendiğinde, %48.0'nin kendilerinin akıllı telefon bağımlısı olabileceği, %28.5'nin günde 11-20 kez arası akıllı telefonlarını kontrol ettikleri, %77.8'nin uyurken akıllı telefonlarını yanında bulundurdıkları ve %70.4'nün de akıllı telefon kullanımının öncelikli amacın konuşmak olduğu belirlendi.

Tablo 2. Adölesan Bireylerin Akıllı Telefon Kullanım Özelliklerine Göre Dağılımı

Akıllı Telefon Kullanım Özellikleri	S	%
Akıllı telefon bağımlılık durumu		
Değilim	160	30.7
Fikrim yok	20	3.8
Belki	250	48.0
Akıllı telefon bağımlısıyım	90	17.5

Günlük akıllı telefonu kontrol sıklığı

10'dan az	49	9.5
11-20 kez	148	28.5
21-30 kez	130	25.0
31-40 kez	55	10.5
40'tan fazla kez	138	26.5

Uyurken telefonu yanında bulundurma durumu

Evet	405	77.8
Hayır	115	22.2

Akıllı telefonun en önemli kullanım amacı

Konuşmak	366	70.4
Sms	5	1.2
İnternette gezinmek	50	9.6
Sosyal medyayı takip etmek	58	11.2
Oyun	10	1.2
Fotoğraf çekmek	5	1.2
Müzik dinlemek, film, video izlemek	26	5.2

Ölçeklerin alt boyut puan ortalamaları incelendiğinde; ATBÖ alt boyut puan ortalamalarının günlük yaşamı rahatsız etme ve toleransta 26.15 ± 9.50 , yoksunluk belirtilerinde 18.58 ± 8.37 , olumlu beklentide 16.52 ± 5.49 , siber odaklı ilişkilerse 9.30 ± 4.93 , aşırı kullanımda 11.77 ± 5.11 , sosyal ağ bağımlılığında 8.39 ± 2.41 ve fiziksel belirtilerde 9.39 ± 3.74 olduğu görülmektedir. ATBÖ toplam puan ortalamasının 101.13 ± 29.54 ve katılımcıların orta düzeyde akıllı telefon bağımlısı olduğu bulunmuştur.

Tablo 3. Öğrencilerin Tanıtıcı Özelliklerine Göre ATBÖ Puan Ortalamalarının Karşılaştırılması

Tanıtıcı Özellikler	ATBÖ $\bar{X} \pm SS$	Test ve p	
Cinsiyet			
Kadın	101.63 $\pm$ 30.08	t=1.4	p=.105
Erkek	98.01 $\pm$ 28.68		
Yaş			
17-19	103.65 $\pm$ 29.87	F=3.2	p=.024
20-22	99.34 $\pm$ 28.89		
23-ve üzeri	93.74 $\pm$ 31.33		
Anne eğitim düzeyi			
Okur yazar değil	97.90 $\pm$ 29.05	F= 2.7	p= .029
İlkokul mezunu	99.90 $\pm$ 29.65		
Ortaokul mezunu	104.68 $\pm$ 33.42		
Lise mezunu	104.05 $\pm$ 27.38		

Üniversite mezunu	114.42±23.57		
Baba eğitim düzeyi			
Okur yazar değil	97.18±26.23		
İlkokul mezunu	98.08±29.89		
Ortaokul mezunu	103.00±29.84	F= 1.1	p= .294
Lise mezunu	100.74±29.22		
Üniversite mezunu	104.49±30.52		
Anne - Baba tutumu			
Baskıcı	101.22±28.94		
Aşırı koruyucu	104.44±33.39		
Mükemmel	98.37±30.18		
İlgisiz	104.40±21.79	F= 0.7	p= .23
Anlayışlı	99.20±28.42		
Aile gelir düzeyi			
Çok Kötü	103.45±35.47		
Kötü	98.05±27.65		
İyi	100.90±29.38	F= 1.3	p= .27
Çok iyi	89.96±34.10		

Tablo 3. incelendiğinde; öğrencilerin yaş gruplarına göre ATBÖ toplam puan ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır. Öğrencilerin anne eğitim düzeylerine göre ATBÖ toplam puan ortalamaları arasındaki farkın önemli olduğu belirlenmiştir. Öğrencilerin baba eğitim düzeylerine göre ATBÖ toplam puan ortalamaları arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmamıştır. Farkın ortaokul mezunu olanların, ilkokul mezunu olanlardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Öğrencilerin anne-baba tutumlarına göre ATBÖ toplam puan ortalamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmamıştır.

Tablo 4. Öğrencilerin Akıllı Telefon Kullanım Özelliklerine Göre ATBÖ Toplam Puan Ortalamalarının Karşılaştırılması

Akıllı Telefon Kullanım Özellikleri	$\bar{X} \pm SS$	Test ve p
Akıllı telefon bağımlılığı değerlendirmesi		
Değilim	81.35±26.04	
Fikrim yok	96.97±23.75	
Belki	102.49±24.51	F= 56.5 p=.000
Bağımlıyım	124.22±27.20	
Günlük akıllı telefonu kontrol sıklığı		
10'dan az	81.08±26.62	
11-20 kez	91.68±25.42	
21-30 kez	97.96±26.80	F= 22.3 p=.000
31-40 kez	106.90±27.74	
40'tan fazla kez	116.05±29.72	

Uyurken telefonu yanında bulundurma			
Evet	103.02±28.97		
Hayır	84.91±27.90	t= 6.11	p=.000
Akıllı telefonun öncelikli kullanım amacı			
Konuşmak	94.75±28.73		
Sms	109.06±32.86		
İnternet	110.91±28.88	F= 6.7	p=.000
Sosyal medya	115.67±27.61		
Oyun	93.58±20.92		
Fotoğraf	105.33±27.56		
Müzik, film, video amaçlı	95.41±26.64		

Tablo 4 incelendiğinde; adölesan öğrencilerin akıllı telefon bağımlısı olup olmama durumuna göre ATBÖ toplam puan ve tüm ATBÖ alt boyut puan ortalamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmıştır. Öğrencilerin günlük akıllı telefonu kontrol etme sayılarına göre ATBÖ toplam puan ve tüm ATBÖ alt boyut puan ortalamaları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmıştır. Öğrencilerin uyurken akıllı telefonu yanında bulundurma durumlarına göre ATBÖ puan ortalaması arasında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmıştır. Öğrencilerin akıllı telefonlarının en önemli kullanım amaçlarına göre ATBÖ puan ortalaması arasında istatistiksel olarak önemli bir fark saptanmıştır.

SONUÇ

Üniversite öğrencilerinin yaş, baba eğitim düzeyi, aile gelir düzeyinin akıllı telefon bağımlılığı üzerine etkili olmadıkları, yaş, anne eğitim düzeyi ve günlük akıllı telefon kontrol sıklığının ise akıllı telefon bağımlılığını etkiledikleri saptanmıştır. Akıllı telefonla geçirilen süre arttıkça, akıllı telefonun günlük kontrol edilme sayısı arttıkça akıllı telefon bağımlılığı riski arttığı görülmüştür. Üniversite öğrencilerine akıllı telefon bağımlılık düzeyini düşürecek eğitim ve danışmanlık yapılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

- Allred R.J., Atkin D. Cell phone addiction, anxiety, and willingness to communicate in face-to-face encounters Communication Reports, 33 (3) (2020), 95-106.
- Allred, R.J., Atkin D. Cell phone addiction, anxiety, and willingness to communicate in face-to-face encounters Communication Report. (2020). 33 (3), pp. 95-106
- Bai C., Chen X., K. Han. Mobile phone addiction and school performance among Chinese adolescents from low-income families: A moderated mediation model Children and Youth Services Review, 118 (2020),
- Billieux J., Maurage P., Lopez-Fernandez O., Kuss D.J., Griffiths M.D. Can disordered mobile phone use be considered a behavioral addiction? An update on current evidence and a comprehensive model for future research Current Addiction Reports, 2 (2) (2015), 156-162.
- Demirci K, Orhan H, Demirdas A, Akpınar A, Sert H. Genç bir toplumda akıllı telefon

bağımlılığı ölçeği'nin türkçe versiyonunun geçerlik ve güvenirliği. Klinik Psikofarmakoloji Bülteni 2014, 24(3): 226-34.

Miezah D., Brew T., Graham M. A., Obeng P. Smartphone Addiction Among University Students: A Scoping Review of Prevalence, Correlates and Impact, Human Behavior and Emerging Technologies, 2026, 5511423, 15.

Minaz A, BÇ. Üniversite Öğrencilerinin Akıllı Telefon Bağımlılık Düzeylerinin ve Kullanım Amaçlarının Farklı Değişkenler Açısından İncelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 2017; 9(21): 268-86.

Sala E. The descriptive analysis of breach experience among smartphone users in the Albanian higher education sector. Int J Innov Technol Interdiscip Sci 2024; 7(3): 1-10.

Shabani, Z., Haxhija, E., Pjetri, E., Guli, A. Smartphone Addiction among University Students. The Open Public Health Journal, 18, 2025.

Xiong S., Zhang A., Zhang B., Xu Y. Patterns of smartphone addiction in adolescents and their association with multiple ecological factors: A latent profile analysis. Children and Youth Services Review, 155, 2023, 107223.

Zhang B. , Xiong S.C. , Xu Y. , Chen Y., Xiao C.G. , Mo Y.Z. . A Meta-analysis of the Relationship between Mobile Phone Use and Anxiety/Depression. Chinese Journal of Clinical Psychology, 27 (6) (2019), pp. 1144-1150.

TOTAL ABDOMİNAL HİSTEREKTOMİ SONRASI TABURCULUK DÖNEMİNDE ÖZ BAKIM, BEDEN ALGISI VE HEMŞİRELİK DANIŞMANLIĞI GEREKSİNİMLERİ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Parisa MANAATI

İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği
Programı,

Parisamanaat7374@gmail.com - 0009-0002-4023-308X

Yüksek Lisans Öğrencisi, Bahar ALABAY

İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği
Programı,

baharalabay97@gmail.com - 0009-0003-7451-7045

Yüksek Lisans Öğrencisi, Rumeysa ÇELİK

İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Cerrahi Hastalıkları Hemşireliği
Programı,

rumeysabayram26@gmail.com - 0009-0002-0784-8330

ÖZET

Total abdominal histerektomi, kadınların yalnızca fiziksel iyileşme sürecini değil, aynı zamanda öz bakım davranışlarını, beden algısını, cinsel yaşamı, aile ilişkilerini ve günlük yaşam aktivitelerini etkileyebilen önemli bir cerrahi girişimdir. Bu çalışma, total abdominal histerektomi sonrası taburculuk döneminde kadınların öz bakım, beden algısı ve hemşirelik danışmanlığı gereksinimlerini bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmek amacıyla planlanmıştır. Çalışma, 2016-2026 yılları arasında Türkiye’de yayımlanan hemşirelik makaleleri ve lisansüstü tezlerin retrospektif literatür incelemesi şeklinde yürütülecektir. Veriler, araştırmacılar tarafından oluşturulacak veri kayıt formu ile çalışma yılı, araştırma yöntemi, örneklem özellikleri, veri toplama araçları ve ameliyat sonrası gereksinim temaları doğrultusunda değerlendirilecektir. Literatürde taburculuk sonrası dönemde postoperatif ağrı, yorgunluk, enfeksiyon riski, hareket kısıtlılığı, beden algısında değişim, kaygı, cinsel işlev sorunları ve sosyal uyum güçlüklerinin öne çıktığı görülmektedir. Bu nedenle taburculuk öncesi verilen eğitimin bireyselleştirilmesi, hastaların evde bakım sürecine hazırlanması, psikososyal destek sağlanması ve izlem temelli hemşirelik danışmanlığının sürdürülmesi önem taşımaktadır. Sonuç olarak, total abdominal histerektomi sonrası dönemde bütüncül hemşirelik yaklaşımı bakım kalitesini artırabilir ve kadınların cerrahi sürece uyumunu destekleyebilir.

Anahtar Kelimeler: Total abdominal histerektomi, öz bakım, beden algısı, taburculuk, hemşirelik danışmanlığı

A CULTURAL PERSPECTIVE ON THE PROFESSIONALIZATION PROCESS OF NURSING

Prof. Dr. Gülbu Tanrıverdi

Çanakkale Onsekiz Mart University/ Faculty of Health Sciences

gulbu.tanriverdi@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2728-5945>

ABSTRACT

This review aims to evaluate the professionalization process of nursing within a cultural context. Nursing has evolved into a professional health discipline throughout history, developing its scientific knowledge base, ethical values, educational structure, and professional organization; however, this transformation has been significantly influenced by the cultural, religious, social, and political characteristics of different societies. Examples from countries such as Japan, India, the United States, and Saudi Arabia demonstrate that gender roles, religious beliefs, class structures, and health policies are decisive in determining the social status, professional identity, and autonomy of nursing. Based on Kelly's eight criteria for professionalization, this study examines nursing's knowledge base, service approach, ethical principles, autonomy, professional organizations, and professional identity within the framework of cultural factors. The findings reveal that while culture supports the professionalization of nursing in some societies, it can limit it in others due to traditional gender roles, patriarchal structures, and societal perceptions of the profession. In conclusion, the professionalization process of nursing is shaped not only by education, science, and health policies, but also by the cultural values and historical experiences of societies. To strengthen the professional development of nursing, it is important to develop educational, policy, and professional organizational approaches that take cultural differences into account.

Keywords: Nursing, professionalization, cultural perspective

INTRODUCTION

Edward B. Tylor defines culture as a complex whole encompassing knowledge, beliefs, art, morals, law, customs, and all other abilities and habits acquired by individuals as members of society. Within this definition, Tylor argues that culture can be studied using scientific methods. According to him, human behavior is not accidental, but develops according to certain laws based on past experiences and mental processes. Tylor attributes cultural similarities to the universality of human nature, and cultural differences to environmental, historical, and social conditions. Cultures are not seen as disconnected entities, but rather as structures that emerged at different stages of shared human history (Tylor, 1971).

History is not merely a recounting of past events; it is a dynamic process that shapes knowledge, ethical norms, and professional identities within specific cultural contexts (Egenes, 2018; Dillard-Wright, 2023). The historiography of nursing must be understood in relation to gender roles, ethical constructions, and cultural values that have historically shaped the profession. Rather than a fixed identity, nursing represents a fluid and evolving narrative grounded in tradition yet constantly reinterpreted through changing social, ethical, and epistemological frameworks (Fowler, 2017).

Cultural forces have deeply influenced nursing's development, with gender expectations playing a central role in defining the profession. Historically, nursing has been associated with feminine virtues such as compassion, obedience, and self-sacrifice, reinforcing its subordinate position to medicine and contributing to its professional devaluation. Even Florence Nightingale's reforms aligned with Victorian ideals of womanhood, structuring nursing education to meet institutional needs for compliant labor rather than individual empowerment. Despite scientific and technical advancements, nurses continue to experience limited autonomy, role ambiguity, and invisibility within healthcare systems, reflecting unresolved cultural legacies (West et al., 2007).

The exclusion of men from nursing has further entrenched its gendered character. Nightingale's vision of nursing as a female vocation led to persistent structural barriers against male participation, particularly in fields such as obstetrics and women's health. Educational policies, curricula, and professional norms have reinforced these boundaries, resulting in limited acceptance and representation of men in nursing. Although more inclusive, gender-neutral models emerged in the late 20th century, male nurses still face social stigma,

professional marginalization, and a lack of mentorship (Kouta & Kaite, 2011; Jayapal et al., 2020).

Traditional nursing histories often focus on post-Nightingale developments, portraying earlier periods as regressive and positioning the profession as a moral vocation institutionalized through reform. Such narratives neglect the cultural and structural conditions—particularly those shaped by class, gender, and race—that have influenced nursing's evolution. In contrast, critical approaches emphasize everyday practices, gendered labor, and cultural expectations as foundational to understanding nursing's professionalization. Culture thus emerges as both a shaping force and a site of resistance, central to how nurses have gained agency or experienced subordination (Rosenberg, 1982; D'Antonio et al., 2010).

In the 20th century, changes in gender roles, healthcare systems, and societal attitudes further reshaped nursing. Once seen as low-status women's work, nursing has acquired new meanings and responsibilities in light of technological innovation and the integration of artificial intelligence. Nevertheless, historical and cultural narratives continue to influence perceptions of the profession.

This review examines the historical development of nursing from Ancient Greece to the present, with particular attention to how cultural norms have influenced care practices and the professionalization of nursing. Rather than offering a definitive or exhaustive account, the review presents a culturally informed evaluation based on the studies that could be accessed within the scope of the available literature. Therefore, the findings should be interpreted within these limitations. By drawing attention to the relationship between culture, care, gender roles, professional identity, and power relations, this review aims to provide a conceptual basis for further discussion. Future studies that include broader geographical contexts, more diverse historical sources, and comparative methodological approaches may contribute to a more comprehensive understanding of the cultural foundations of nursing and its professional development.

HISTORICAL FOUNDATIONS OF NURSING

The history of nursing has often been underdocumented, leading to diminished visibility and relegation to the cultural background (Theofanidis & Sapountzi-Krepia, 2015). In Ancient Greece, much of women's health knowledge was passed down orally and rarely appeared in

written texts, though indirect references exist in Homeric and Hippocratic sources. Helen's training in Egypt and Hecamede's care for injured soldiers reflect early forms of gendered care.

In India, as early as 250 BCE, nursing schools for men emphasized a holistic skill set, including medicine, bathing, and cooking (Christensen, 2017). The Sushruta Samhita (c. 600 BCE) described caregivers (*upasthātr*) as requiring cleanliness, skill, compassion, and attentiveness. These early forms of caregiving were often embedded in religious and moral systems.

In Ancient Egypt (~3150 BCE onward), caregivers such as wet nurses (*megedet*) were part of an organized system, as hieroglyphic records suggest. The Ebers Papyrus (1550 BCE) recommended breastfeeding until age three, highlighting the role of women in pediatric care (Koçtürk, 2003; Elhabashy & Abdelgawad, 2019).

During the Byzantine era, male caregivers served in church hospitals. Christian caregiving orders such as the Parabolani viewed care as divine duty (Christensen, 2017). Figures like Fabiola and Phoebe exemplified early organized nursing within Christian communities (Egenes, 2018). Monasteries functioned as primary centers of healing until the Protestant Reformation, which saw the closure of these institutions, leading to a decline in care quality (Jayapal & Arulappan, 2020).

The Crusades gave rise to religious-military nursing orders such as the Knights Hospitaller, who provided battlefield care. In the Islamic world, caregiving was also shaped by religious institutions, with hospitals (*bimaristans*) employing male and female staff under ethical-religious guidelines.

Post-Reformation, secular models of nursing began to emerge in Europe. Male nurses played key roles in mental health institutions and military contexts, reflecting gendered assumptions about emotional detachment and discipline. The Hamilton Association (1885) marked an effort to institutionalize male nursing, although later historical narratives largely excluded their contributions (Christensen, 2017).

In Germany, the Kaiserswerth Institute (1836) integrated nursing with religion and social work, significantly influencing Florence Nightingale (Egenes, 2018; Vuilleumier, 1931). While Nightingale helped formalize nursing as a profession, she remained influenced by Victorian ideals of womanhood and moral virtue (Dillard-Wright, 2023).

The 20th century saw the expansion of professional nursing education under capitalist and colonial influences. Institutions like the Rockefeller Foundation promoted standardized nursing models aligned with biomedicine and Western values (Silva & Ferreira, 2021). Comparative studies highlight how cultural contexts shaped the trajectory of nursing: immigration and urbanization in the U.S., Buddhism in Thailand, revolution in China, and political struggle in Latin America (Liu et al., 2015; Wierzbicka, 2019).

As Fasoli (2020) argues, reviving nursing's cultural and spiritual foundations may be essential to reclaiming its identity amid global transformations

NURSING IN DIFFERENT COUNTRIES

This review includes cases from Asia, the Middle East, Africa, Europe, and the Americas, selected based on their cultural diversity, geopolitical relevance, and availability of scholarly nursing histories. This section presents a comparative overview of nursing across selected countries and regions, exploring how historical developments and cultural forces have shaped the profession. Each case study is analyzed with attention to gender norms, religious values, institutional structures, and sociopolitical contexts.”

Nursing in India

Hindistan’da hemşirelik eğitiminin gelişimi, antik bakım anlayışları, sömürgeci sağlık politikaları, dini etkiler ve modernleşme süreçlerinin kesişiminde şekillenmiştir. Ayurveda metinlerinde hemşirenin bilgi, hijyen, beceri ve şefkat gibi niteliklerle tanımlanması, bakımın erken dönem kültürel temellerini göstermektedir. Modern anlamda örgün hemşirelik eğitimi ise İngiliz Doğu Hindistan Şirketi’nin askeri sağlık hizmetleriyle başlamış; başlangıçta bakım hizmetleri çoğunlukla eğitimsiz erkek çalışanlar tarafından yürütülmüştür. Daha sonra İngiltere’den getirilen hemşireler, misyoner faaliyetler ve sivil hastanelerin gelişimiyle kadınların hemşirelik eğitimine katılımı artmıştır. Yirminci yüzyılda Hindistan Eğitimli Hemşireler Derneği’nin girişimleri, Bhore Komitesi’nin önerileri ve üniversite düzeyindeki programların açılmasıyla hemşirelik eğitimi daha örgütlü ve profesyonel bir yapıya kavuşmuştur. Bu süreç, Hindistan’da hemşireliğin sömürgeci miras, toplumsal cinsiyet rolleri ve yerleşme dinamikleri içinde yeniden tanımlandığını göstermektedir (Nair & Sarin, 2024).

Modern nursing in India began in 1664 with the East India Company’s hospital in Madras, initially serving military personnel. Institutional development followed with a maternity hospital in 1797 and a midwifery training school in 1854. The arrival of British nurses

in 1888 and missionary nurses in 1905 formalized nursing services. To meet rising demand, regional examination boards were formed in 1911, 1912, and 1934, followed by state nursing councils from 1935 onward. The Indian Nursing Council Act of 1947 provided a legal framework, and by 2000, 19 states had registration councils. Significant strides were also made toward the formal recognition of male nursing (Jayapal & Arulappan, 2020).

Nursing in India has been shaped by caste, class, religion, gender norms, and colonialism. During British rule, Western-style education prevailed, but the profession was stigmatized as low-status and unclean, often assigned to lower-caste women educated by Christian missionaries. Post-independence, traditional gender expectations continued to frame nursing as a female profession, with women subject to social and familial scrutiny. Men dominated leadership roles, excluding women from decision-making. Despite nurses' critical role in primary healthcare, they remain undervalued across social, economic, and professional domains. Structural transformation is needed to overcome these systemic inequalities (Gill, 2018).

Note: In this article, “modern nursing” refers to formal, structured care delivered through regulated institutions, supported by professional training and credentialing.

Nursing in Switzerland

La Source, founded by Valérie de Gasparin, holds a significant place in the development of nursing education in Switzerland. According to Vuilleumier, La Source opened before Florence Nightingale's school in St. Thomas and is considered the world's first foundation-supported nursing school. Gasparin championed values considered progressive for her time, such as women's education, freedom of conscience, and professional autonomy; she rejected limiting nursing to religious service or voluntary care. With its secular, independent, scientifically based structure and its emphasis on professional nursing education, La Source made an early and significant contribution to the professionalization of nursing (Vuilleumier, 1931).

Nursing in Japan

Nursing in Japan was institutionalized during the mid-Meiji era (1868–1912), shaped by Western medicine and Florence Nightingale's model emphasizing discipline, hygiene, and professional conduct (Otsu & Fukugawa, 1984). Formal nursing education began in Tokyo in 1884, later spreading to regions such as Kyushu and Fukuoka. In early stages, due to the limited

number of schools, physicians trained nurses informally within hospitals. This hybrid model of informal and formal education laid the foundation for modern nursing in Japan. Traditional Japanese values such as *ryosai kenbo* (“good wife, wise mother”) positioned nursing within the moral framework of femininity and self-sacrifice. Nursing was seen less as a profession and more as an extension of a woman’s familial duties. Cultural expectations of silence, endurance (*gaman*), and group harmony (*wa*) further shaped nurses’ experiences, often discouraging individual advocacy or confrontation with authority. Despite post-WWII healthcare expansion, Japanese nurses did not engage in feminist or labor movements. The Japanese Nursing Association focused on professional recognition, not social empowerment (Kako, 2002). Nurses’ limited autonomy and passive organizational roles reflect this historical disengagement. Patriarchal structures and seniority systems further constrained career advancement, especially for women. Cultural values such as collectivism and guilt over burdening others discourage nurses from taking sick leave or requesting personal time, contributing to overwork. Rigid hierarchies and insufficient delegation create emotional fatigue and burnout. These stressors have led to cases of *karoshi* (death from overwork) and *karojisatsu* (suicide from work-related stress), illustrating how deeply cultural expectations can affect health professionals’ well-being (Lewis & McAllister, 2008). Recent discussions around nurse welfare and mental health challenge these long-standing cultural norms but face slow structural change.

Nursing in China

The development of nursing education in China reflects the country’s historical, political, and cultural landscape. Smith and Tang (2004) and Wong and Zhao (2012) emphasize that Western missionaries introduced modern nursing in the late 19th century. Both studies highlight the severe decline in nursing education during the Cultural Revolution (1966–1976), marked by political distrust toward intellectual authority. Smith and Tang (2004) further stress political repression and cultural caution toward Western medicine. In contrast, Wong and Zhao (2012) focus on the influence of education-centered cultural values, particularly the high status accorded to academic achievement, shaping nursing’s professionalization.

Traditional Chinese Medicine (TCM) remains integral to Chinese nursing, aligning with holistic cultural values. Yet tensions persist between professional nursing and China’s family-centered care model, which can create cultural barriers in care delivery (Wong & Pang, 2000).

Scholars call for culturally sensitive nursing practices that integrate social, moral, and philosophical foundations specific to Chinese society.

The development of nursing education in China has been shaped by the country's historical conditions and societal needs. In particular, an aging population, changes in disease patterns, the use of advanced technology, and increased consumer knowledge are influencing nursing practices and educational programs. Furthermore, the centralized roles of young people within the family following the one-child policy have increased expectations regarding healthcare services. All these factors have led to comprehensive transformations and diversification in nursing education in China (Liu et al., 2015).

Nursing in the United States

The historical development of nursing in the United States reflects the interplay of gender roles, class structures, and cultural values. Organized patient care began in 1813 when affluent women in Charleston, South Carolina, offered in-home care to the poor, driven by both charity and social prestige. Throughout the 19th century, such care was seen as a moral duty, with services largely provided through philanthropic efforts by upper-class women. Influenced by Florence Nightingale, the “visiting nurse” model expanded nursing's role beyond physical care to maintaining social order, initiating the profession’s formalization.

Lillian Wald’s “public health nurse” model redefined nursing as a socially engaged and scientifically grounded profession, positioning nurses as agents addressing inequality. This evolution unfolded within cultural frameworks negotiating gender and class boundaries (Buhler-Wilkerson, 2007).

In 1984, Reverend Granger Westberg introduced faith-based health ministry, integrating care for body, spirit, and community within Christian congregations. This led to the founding of the National Parish Nurse Resource Center (1986), development of standards in 1998, and official recognition in 2014. Today, roughly 15,000 faith community nurses work across 23 countries, including diverse settings such as mosques, temples, and synagogues (Schroepfer, 2016; Ziebarth, 2014).

Nursing in Saudi Arabia

Modern nursing in Saudi Arabia began in 1948 with a program initiated by a male American nurse, during the early stages of the Kingdom’s healthcare system development.

Initially, training was male-dominated and limited in scope. Women were admitted to nursing education programs in 1961, though their participation was constrained by societal norms. Despite growing demand, local enrollment remained low, and the country became heavily dependent on foreign nursing labor (Aldossary et al., 2008). Male nurses only gained access to university-level programs in 2004, decades after women.

Nursing in Saudi Arabia has developed at the intersection of Islamic values, tribal customs, **and** gender norms. The profession draws religious legitimacy from figures like Rifaida Al-Asalmiya, considered the first Muslim nurse, who provided care during battles alongside the Prophet Muhammad (Akhmetova, 2016). However, despite this legacy, cultural conservatism continues to constrain the profession.

These cultural and gender-based restrictions have shaped workforce participation and training. The Saudi Vision 2030 and Saudization policies aim to address these challenges by promoting the education and employment of Saudi nationals, both male and female. These reforms seek to modernize nursing education and practice, enhancing cultural sensitivity and aligning with international standards while addressing local healthcare needs (Aljohani, 2020).

Nursing in the United Arab Emirates

Historical records of pre-Islamic nursing in the Gulf are limited (Haddad, 2006). However, early Islamic nursing was led by Rifaida bint Sa'd (Rifaida Al-Aslamia), trained by her physician father. She provided care during battles like Badr and Uhud, establishing a care tent near the Prophet's Mosque and leading female volunteers (Akhmetova, 2016). Recognized as the first nurse in Islamic history, Rifaida integrated physical and spiritual care, forming a compassion-based, holistic model aligned with Islamic values.

Despite this legacy, modern nursing in the UAE faces structural and cultural barriers. Low societal status, inconsistent education, lack of Arabic resources, traditional norms, and Emirati lifestyle discourage local participation—only 3% of nurses are Emirati (Haddad, 2006). The Emirates Nursing Association promotes national engagement, but patriarchal norms still limit women's advancement. Future strategies must address **cultural resistance**, especially the notion that nursing is a “foreign” or “service-class” job. Reforming public perceptions, celebrating Islamic nursing pioneers, and providing structured career pathways for Emiratis are

essential for building a sustainable, culturally resonant nursing workforce (Al-Yateem et al., 2021).

Across the Arab world, nursing's development is shaped by cultural, religious, and socioeconomic factors. Islam has contributed a holistic, ethical foundation grounded in compassion and social responsibility (Al-Riyami, 2017).

Nursing in Iran

In Iran, nursing is regarded as a sacred and honorable profession in religious and cultural terms; the association of Lady Zainab with care and self-sacrifice, particularly in Shia Islamic history, strengthens the cultural position of nursing. Although nurses are defined as professionals with scientific knowledge and practical skills, the societal perception of the profession, cultural values, and structural limitations restrict professional development. Shift work can limit families, especially girls, from pursuing nursing as a profession; nurses are often seen as assistants to physicians in society. Furthermore, the roles expected of female and male nurses differ according to gender norms; female nurses are more associated with caregiving roles, while male nurses are associated with technical and emergency roles. Therefore, despite its religious value, nursing in Iran faces various difficulties in terms of professional autonomy and recognition due to low social status, a physician-centered structure, limited resources, and gender expectations (Nasrabadi et al., 2004).

Before 1915, nursing in Iran was performed mainly by women in domestic settings and viewed as low-status due to limited trained personnel and cultural-religious restrictions. Formal nursing education began in 1915 with a three-year program in Tabriz, established by the American Presbyterian Missionary Society (Hazrati et al., 2011). Additional schools opened from 1916 onward, supported by the World Health Organization to expand teaching capacity (Farsi et al., 2010). Institutional progress accelerated in 1943 with the founding of the Iranian Nursing Association by internationally educated nurses. By 1952, a nursing department was integrated into the Ministry of Health, and the first bachelor's program was launched at Shiraz University in 1967 (Hazrati et al., 2011).

The Islamic Revolution of 1979 marked a turning point in the cultural meaning of nursing. Previously stigmatized as subordinate and "Westernized," nursing was reframed within Islamic values emphasizing spirituality, sacrifice, and moral responsibility. The figure of

Zaynab bint Ali, revered for her strength and caregiving during the Battle of Karbala, was invoked to legitimize female nurses' roles. Her birthday was designated as Nurses' Day in Iran, linking nursing with religious virtue and national identity (Shahbazi et al., 2018).

This symbolic transformation provided cultural validation for nursing as a respectable, even heroic, profession especially during the Iran-Iraq War, when both male and female nurses were mobilized to meet urgent wartime needs (Nasrabadi et al., 2004).

Despite their numerical majority, women continue to face structural and cultural barriers to leadership, autonomy, and public visibility. Gender expectations, including modesty and deference, continue to influence nurse–patient dynamics and workplace interactions (Farsi et al., 2010).

South Africa

Between 1948 and 1980, Black women's entry into nursing at Baragwanath Hospital in South Africa reflected both professional aspiration and cultural identity. Nursing offered social mobility, empowerment, and prestige. Western-style uniforms and disciplined behavior symbolized modernity and elite status, influenced by missionary ideals and the Nightingale legacy. Training emphasized moral discipline alongside clinical skills. While embracing Western norms, Black nurses preserved cultural heritage, transforming nursing into cultural capital within families and communities. Yet, their careers unfolded amid systemic racial discrimination, wage disparities, and exclusionary structures (Horwitz, 2007). Today, South Africa's nursing system still struggles with post-apartheid inequities, including resource disparities, workforce burnout, and cultural dissonance in care delivery. Scholars call for Afrocentric nursing frameworks that integrate ubuntu philosophy, community empowerment, and culturally safe practice (Klopper & Uys, 2013).

Nursing in Cuba

The 1959 Cuban Revolution redefined healthcare through socialist values of equality, solidarity, and public responsibility, profoundly impacting nursing. Nurses became community-based health agents, extending care beyond hospitals to rural and urban settings. Emphasizing social participation over technical tasks, nursing aligned with Cuba's cultural focus on family and community. Practices such as home visits and preventive care symbolized collective well-

being. In this framework, nurses embodied socialist ideals, functioning as ethical actors within a restructured, socially integrated healthcare system. The 1959 Cuban Revolution marked a radical transformation of healthcare in Cuba, redefining nursing within a socialist framework. Pre-revolution nursing was fragmented and largely hospital-based. Post-revolution reforms prioritized universal health coverage, preventive care, and community participation. Nurses became integral to Cuba's new primary healthcare model, working alongside physicians in polyclinics, rural health posts, and home visit programs (Cardenas et al., 2018).

Nursing in Russia

The historical development of nursing in Russia has been shaped within the political, religious, and institutional structures of the Tsarist and Soviet periods. According to Murray, during the Tsarist era, nursing was largely carried out through semi-religious communities such as the Orthodox Church and the "Mothers of Mercy"; however, this experience did not evolve into a widespread and organized civil nursing system. In the Soviet era, the religiously based approach to care was eliminated, but nursing was structured not as an independent profession, but as a technical field dependent on physicians and the state health system. Therefore, nursing did not achieve a prestigious and autonomous professional status during the Soviet period (Murray, 2004).

According to the literature nurses in Russia worked for a long time within a system based on division of labor and limited autonomy. Nurses were not adequately supported in holistically assessing patients, responding to their psychological and spiritual needs, or providing patient education. The lack of recognition of nursing knowledge as a professional field of knowledge caused the profession to remain in the shadow of physicians. Furthermore, low wages, low prestige, limited career opportunities, a physician-centered education structure, and the public perception of nurses as technical support staff have been cited as key obstacles to professionalization. The establishment and organizational efforts of the Russian Nurses Association have been considered an important step in supporting the professional development of nursing (Difazio, Lang, & Boykova, 2004).

Nursing in Turkey

The development of nursing in Turkey is closely linked to wars, modernization movements, religious and charitable care concepts, women's social roles, and state reforms. From ancient Turkish societies to the Seljuk and Ottoman periods, care services were mostly

provided by women, the elderly, traditional caregivers, and health institutions; structures such as hospitals, foundations, and the master-apprentice system formed the cultural foundations of nursing (Karabulut, 2022; Akçoban, 2023).

In the late Ottoman period, Westernization movements, wars, and public health needs accelerated the institutionalization of nursing. The participation of women as volunteer nurses during the Balkan Wars and World War I contributed to nursing being seen as a socially acceptable profession for women, associated with patriotism. In this process, the Turkish Red Crescent Society, Besim Ömer Pasha, and pioneering women who served during the war played significant roles in the development of modern nursing education (Segev, 2024; Arpag et al., 2022).

During the Republican era, nursing was restructured as a secular, scientific profession aligned with Western standards. The opening of the Turkish Red Crescent Nursing School, the adoption of the Nursing Law, and the expansion of nursing education to the university level supported the profession's attainment of legal and professional status (Karabulut, 2022; Arpag et al., 2022). However, the historical association of nursing with cultural values such as femininity, motherhood, self-sacrifice, and obedience continues to influence the profession's societal perception (Akçoban, 2023; Korkmaz, 2011).

Although the nursing profession in Turkey has made significant progress towards modernization and professionalization, gender roles, low professional status, limited autonomy, hierarchical work relationships, and restrictions in decision-making processes constitute cultural and structural obstacles to professional empowerment (Korkmaz, 2011; Kasapoğlu & Akbal, 2017). According to Kasapoğlu and Akbal, the association of nursing with "motherhood" and the care role specific to women contributes to the perception of the profession's low professional value, and legitimizes low wages and low status. Therefore, strengthening nursing in Turkey is possible not only through education and legislative reforms, but also through structural changes that transform gender stereotypes and cultural perceptions of the profession (Kasapoğlu & Akbal, 2017).

A CULTURAL ANALYSIS OF KELLY'S CRITERIA FOR PROFESSIONALIZATION

Kelly's eight criteria for professionalization, first articulated in the 1980s and later expanded to ten by Joel (2003), offer a useful framework for assessing the development of nursing as a profession. However, their application across diverse cultural, religious, and

political settings reveals considerable variation. Cultural values shape not only perceptions of care but also structural access to knowledge, autonomy, and ethical authority. This section examines how Kelly's criteria manifest differently across societies, emphasizing the cultural negotiations embedded in professionalization.

1. Provision of Vital Services to Humanity and Society

In many societies, nursing is culturally devalued due to its gendered association with caregiving and subservience. In India, for example, the profession has historically been linked to lower castes and stigmatized as “impure,” undermining its social legitimacy (Gill, 2018). In Saudi Arabia and the UAE, nursing is often perceived as low-status labor, which deters local participation and increases reliance on migrant workers (Haddad, 2006; Al-Yateem et al., 2021). This contrasts with the respect attributed to nursing in early Islamic history, where figures like Rifaia Al-Aslamia legitimized nursing as vital, ethical service.

2. Body of Knowledge Continually Expanded Through Research

Cultural and political contexts significantly affect nursing's capacity for scientific advancement. In China, the Cultural Revolution halted nursing education and devalued academic expertise, interrupting the development of a scholarly knowledge base (Smith & Tang, 2004). In Turkey, although nursing education was integrated into universities in the 1980s, persistent hierarchies continue to limit nurses' research autonomy (Korkmaz, 2011). In Russia, nursing remains technically oriented and subordinate to medicine, restricting the profession's intellectual contributions (Murray, 2004).

3. Intellectual Activities and Individual Responsibility

In collectivist cultures, such as Japan, values like *gaman* (endurance), loyalty, and silence may suppress independent decision-making in clinical settings (Kako, 2002; Lewis & McAllister, 2008). Nurses often avoid asserting their opinions to maintain group harmony and respect for seniority. Similarly, in Russia, nurses are culturally expected to defer to physicians, weakening their role as autonomous intellectual actors (Murray, 2004).

4. Higher Education Requirement

Access to higher education for nurses is shaped by structural inequalities and cultural expectations. In India, the caste system historically confined nursing to marginalized groups, affecting both access and quality of education (Gill, 2018). In Saudi Arabia, women's

participation in nursing programs still depends heavily on family approval, creating sociocultural barriers (Aljohani, 2020). In Iran, university-level nursing programs expanded significantly after the Islamic Revolution, but traditional gender roles continue to shape public perceptions (Farsi et al., 2010). In Turkey, the expansion of academic nursing has not yet fully overcome the image of the profession as feminine and subordinate (Arpag et al., 2022).

5. Autonomy and Control Over Practice

Across many countries, medical hierarchies and gender norms restrict nursing autonomy. In India and Turkey, nurses are culturally expected to follow physician directives without question, reinforcing structural subordination (Gill, 2018; Korkmaz, 2011). In Iran, although nurses receive advanced education, decision-making remains institutionally constrained. In Saudi Arabia, male nurses face limitations in clinical practice due to gender segregation, which excludes them from women's health care settings (Aljohani, 2020).

6. Altruistic Motivation for Service

Cultural understandings of altruism differ widely. In Japan, self-sacrifice and collective duty strongly inform nurses' motivations, even when these values contribute to overwork and emotional fatigue (Lewis & McAllister, 2008). In India, economic necessity often leads individuals from disadvantaged backgrounds to choose nursing, potentially complicating the ideal of voluntary service (Jayapal & Arulappan, 2020). In Cuba, by contrast, socialist values frame nursing as a moral and collective responsibility, integrating service into national identity (Cardenas et al., 2018).

7. Guidance by a Code of Ethics

In many non-Western societies, ethical behavior is more strongly shaped by religion, family norms, or spiritual exemplars than by professional codes. In Iran, the figure of Zaynab bint Ali symbolizes the spiritual ideal of caregiving, embedding ethical practice in religious identity (Shahbazi et al., 2018; Abedi et al., 2004). In Saudi Arabia, ethical standards are often derived from Islamic values and community expectations rather than formal professional guidelines (Aldossary et al., 2008).

8. Presence of Professional Organizations and Standards of Practice

In many countries, nursing organizations lack institutional power or visibility. In Turkey, although associations exist, they have limited policy influence and low membership

engagement (Korkmaz, 2011). In the UAE, public undervaluation of nursing weakens professional solidarity and limits organizational capacity (Al-Yateem et al., 2021). In Oman, despite state support, nurses often remain structurally marginalized in healthcare governance, reflecting wider cultural and institutional hierarchies (Al Magbali et al., 2019).

Kelly's model remains a valuable lens for assessing nursing professionalization, but its implementation is deeply shaped by cultural context. In many societies, gender norms, class hierarchies, religious values, and political structures constrain how these criteria are realized. For example, where femininity is linked to obedience, autonomy may be institutionally suppressed; where service is sanctified over rights, nurses may lack advocacy structures.

Thus, professionalization is not only a technical or educational process it is also a cultural transformation. To strengthen nursing globally, reforms must address both structural systems and embedded cultural meanings that shape the profession's identity.

Conclusion and Recommendations

This review has demonstrated how the historical development of nursing is deeply intertwined with cultural, social, and ideological structures. Although the nursing profession is defined through universal principles, its formation and recognition vary significantly across societies, shaped by unique value systems, belief structures, and social norms.

Cultural factors particularly gender roles, class structures, religious values, and colonial legacies have played a decisive role in the professionalization of nursing. These cultural forces influence the applicability of universal models such as Kelly's criteria, which may be constrained by societal expectations, institutional hierarchies, and traditional worldviews.

Nursing policies should thus address not only structural reforms but also cultural transformation. Recommendations include:

- Integrating cultural competence and critical reflection into nursing education;
- Promoting gender equity and inclusive leadership;
- Aligning ethical frameworks with both local values and global standards;
- Strengthening professional organizations to increase policy influence;
- Encouraging context-specific research to enrich global knowledge with local insights.
- Understanding nursing as both a technical profession and a cultural practice is essential for achieving meaningful professionalization in diverse global contexts.

Limitations

This study has several limitations. First, it relies entirely on secondary sources and lacks empirical field data, which may restrict the depth of cultural interpretation in specific contexts. Second, the review is limited to selected countries and does not aim to provide a comprehensive global overview. The selection was influenced by the availability of scholarly literature and sample cultural comparisons, potentially overlooking significant regional differences. Third, while the application of Kelly's criteria is analytically useful, it may not fully reflect local professional identity models and local ethical frameworks in nursing. Finally, the absence of intersectional analyses, such as the impact of race, ethnicity, or migration, may restrict the scope of structural critique across various sociopolitical systems.

References

Abedi, H. A., Parvizy, S., & Mehrdad, N. (2004). Professional nursing in Iran: An overview. *Journal of Nursing*, 20(6), 396–402.

Akçoban, S. (2023). An overview of the history and sociological structure of nursing in the world and Turkey. *Health Sciences Research: Nursing & Midwifery-III*, 3, 101–116.

Akhmetova, E. (2016). Women in Islamic civilisation: Their rights and contributions. *ICR Journal*, 7(4), 476–491.

Aljohani, K. A. S. (2020). Nursing education in Saudi Arabia: History and development. *Cureus*, 12(4), e7758. <https://doi.org/10.7759/cureus.7758>

Al-Yateem, N., Almarzouqi, A., Dias, J., Saifan, A., & Timmins, F. (2021). Nursing in the United Arab Emirates: Current challenges and opportunities. *Journal of Nursing Management*, 29(2), 109–112. <https://doi.org/10.1111/jonm.13121>

Arpag, N., Gür, S., & Katran, H. B. (2022). Türk hemşirelik tarihindeki lider hemşireler ve cerrahi hemşireliğinin gelişimi. *Fenerbahçe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 2(2), 522–530.

Cardenas, L. T. G., et al. (2018). The family doctor and nurse program: Development of the health care model in Cuba. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 42, e1–e10.

Christensen, M. (2017). Men in nursing: The early years. *Journal of Nursing Education and Practice*, 7(5), 94–103. <https://doi.org/10.5430/jnep.v7n5p94>

D'Antonio, P., Connolly, C., Wall, B. M., Whelan, J. C., & Fairman, J. (2010). Histories of nursing: The power and the possibilities. *Nursing Outlook*, 58(4), 207–213. <https://doi.org/10.1016/j.outlook.2010.05.002>

- Difazio, R., Lang, D., & Boykova, M. (2004). Nursing in Russia: A 'travelogue'. *Journal of Pediatric Nursing*, 19(2), 150–156.
- Egenes, K. J. (2018). History of nursing. In M. C. Roux & J. A. Halstead (Eds.), *Issues and trends in nursing: Essential knowledge for today and tomorrow* (pp. 1–26). Jones & Bartlett Learning.
- Farsi, Z., Dehghan-Nayeri, N., Negarandeh, R., & Broomand, S. (2010). Nursing profession in Iran: An overview of opportunities and challenges. *Japan Journal of Nursing Science*, 7(1), 9–18. <https://doi.org/10.1111/j.1742-7924.2010.00135.x>
- Fowler, M. D. (2017). Why the history of nursing ethics matters. *Nursing Ethics*, 24(3), 292–304. <https://doi.org/10.1177/0969733017693445>
- Gill, R. (2018). Gender stereotypes: A history of nursing in India. *Social Action*, 68(1), 43–55.
- Horwitz, S. (2007). 'Black nurses in white': Exploring young women's entry into the nursing profession at Baragwanath Hospital, Soweto, 1948–1980. *Social History of Medicine*, 20(1), 131–146. <https://doi.org/10.1093/shm/hkm003>
- Kasapoğlu, A., & Akbal, A. (2017). The Gendered Profession: The Case Of Nursing In Turkey. *Advances in Social Sciences Research Journal*, 4(16), 23–45. <https://doi.org/10.14738/assrj.416.3583>
- Karabulut, N. (2022). Nursing in Turkey. In M. Nagórska (Ed.), *Medical professions in international perspective: Nurse* (pp. 209–224). Rzeszów: Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego. Retrieved August 7, 2025, from <https://www.researchgate.net/publication/360912474>
- Kako, M. (2002). An oral history of Japanese nursing: Voices of five senior nurses who have experienced nursing since the 1950s. *Contemporary Nurse*, 12(2), 176–184. <https://doi.org/10.5172/conu.12.2.176>
- Korkmaz, F. (2011). Meslekleşme ve ülkemizde hemşirelik. *Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi*, 18(2), 59–67.
- Lewis, S. M., & McAllister, M. (2008). Taking leave from work: The impact of culture on Japanese female nurses. *Journal of Clinical Nursing*, 17(2), 274–281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2702.2006.01849.x>
- Liu, Y., Rodcumdee, B., Jiang, P., & Sha, L. Y. (2015). Nursing education in the United States, Thailand, and China: Literature review. *Journal of Nursing Education and Practice*, 5(7), 100–108. <https://doi.org/10.5430/jnep.v5n7p100>
- Murray, E. (2004). Russian nurses: From the Tsarist sister of mercy to the Soviet comrade nurse. *Nursing Inquiry*, 11(3), 130–137. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1800.2004.00221.x>
- Murray, M. K. (2002). The nursing shortage: Past, present, and future. *JONA: The Journal of Nursing Administration*, 32(2), 79–84. <https://doi.org/10.1097/00005110-200202000-00005>

Nair, Rathish; Sarin, Jyoti. Genesis of Professional Nursing Education in India. *Journal of Datta Meghe Institute of Medical Sciences University* 19(4):p 639-642, Oct–Dec 2024. | DOI: 10.4103/jdmimsu.jdmimsu_537_22

Nasrabadi, A. N., Lipson, J. G., & Emami, A. (2004). Professional nursing in Iran: An overview of its historical and sociocultural framework. *Journal of Professional Nursing*, 20(6), 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.profnurs.2004.08.002>

Otsu, M., & Fukagawa, Y. (1984). A history of nursing in Fukuoka Prefecture. *Journal of UOEH*, 6(4), 419–422.

Rosenberg, C. (1982). Recent developments in the history of nursing. *Sociology of Health & Illness*, 4(1), 86–94. <https://doi.org/10.1111/1467-9566.ep10491467>

Segev, R. (2024). *The late Ottoman era and its legacy for nursing in Turkey*. *Turkish Studies*, 25(2), 352–365. <https://doi.org/10.1080/14683849.2023.2300935>

Silva, R. N. D., & Ferreira, M. D. A. (2021). Nursing and society: Evolution of nursing and of capitalism in the 200 years of Florence Nightingale. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 29, e3425. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4606.3425>

Smith, D. R., & Tang, S. (2004). Nursing in China: Historical development, current issues and future challenges. *Journal of Oita Nursing and Health Sciences*, 5(2), 16–20.

Theofanidis, D., & Sapountzi-Krepia, D. (2015). Nursing and caring: An historical overview from ancient Greek tradition to modern times. *International Journal of Caring Sciences*, 8(3), 791–800.

Vuilleumier, M. (1931). The world's first endowed school of nursing. *The American Journal of Nursing*, 31(6), 806–810. <https://doi.org/10.2307/3411457>

West, E. A., Griffith, W. P., & Iphofen, R. (2007). A historical perspective on the nursing shortage. *Medsurg Nursing*, 16(2), 124–130.

Wong, F. K., & Zhao, Y. (2012). Nursing education in China: Past, present and future. *Journal of Nursing Management*, 20(1), 38–44. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2834.2011.01243.x>

Wong, T. K., & Pang, S. M. (2000). Holism and caring: Nursing in the Chinese health care culture. *Holistic Nursing Practice*, 15(1), 12–21.

YUMUŞAK DOKU MÜHENDİSLİĞİ İÇİN YÜKSEK POROZİTELİ KITOSAN/ALJİNAT İSKELELERİN TASARIMI VE KARAKTERİZASYONU

Fazilet Mısra ÖZDEMİR²

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi,
faziletmisraozdemir@gmail.com - 0000-0003-2931-1163

Doç. Dr. Aydan GÜLSU³

Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi,
gaydan@mu.edu.tr - 0000-0001-5026-6868

ÖZET

Doku mühendisliği çalışmalarında üç boyutlu iskelelerinin (scaffold) gözenek yapısı ve porozite özellikleri, hücre tutunması ile doku rejenerasyonu için kritik öneme sahiptir. Literatürde genellikle sert dokular için çalışılan kitosan/aljinat iskelelerin, yüksek hücresel geç ve besin difüzyonu gerektiren yumuşak doku mühendisliği uygulamalarındaki potansiyeli henüz tam olarak keşfedilmemiştir. Bu çalışmada, dondurarak kurutma (liyofilizasyon) yöntemiyle hazırlanan ve CaCl₂ ile çapraz bağlanan kitosan/aljinat hibrid iskelelerinde; polimer karışım oranının (1:3 ve 3:1) ve dondurma sıcaklığının (-20°C ve -80°C) yapısal özellikler üzerindeki etkileri sistematik olarak incelenmiştir. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) analizleri, kitosan ve aljinatın fonksiyonel grupları arasındaki etkileşimi ve iyonik çapraz bağlanma başarısını doğrulamıştır. Sıvı absorpsiyonu yöntemiyle gerçekleştirilen porozite testlerinde, 1:3/-80°C numunesinin porozitesi %95,50 olarak hesaplanırken, 3:1/-80°C numunesinde bu değer %84,53'e gerilediği tespit edilmiştir. Bu durum, kitosan oranının artışıyla polimer zincirlerinin daha sıkı bir matris yapısı oluşturarak toplam gözenek hacmini daralttığını göstermiştir. Diğer taraftan, dondurma sıcaklığının etkisini incelemek amacıyla kıyaslanan 1:3/-20°C numunesinin porozitesi ise %92,16 olarak bulunmuştur. -80°C'deki hızlı kriyojenik buz kristali oluşumunun, -20°C'ye kıyasla daha homojen dağılımlı ve optimize edilmiş mikro-gözenekler ürettiği ve toplam gözenekliliği artırdığı belirlenmiştir. Sonuç olarak, polimer bileşimi ve dondurma sıcaklığı parametrelerinin kontrol edilmesiyle, yüksek gözeneklilik gerektiren yumuşak dokuların morfolojik ihtiyaçlarına uygun iskelelerin başarıyla tasarlanabileceği gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Kitosan, Aljinat, İskele (Scaffold), Liyofilizasyon, Porozite.

² Bu çalışma, Fazilet Mısra ÖZDEMİR'in Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi'nde devam etmekte olan "Doğal Biyopolimerler ile Doku İskeleleri Hazırlanması, Karakterizasyonu ve İn-Vitro Değerlendirmeleri" başlıklı yüksek lisans tezinden derlenmiştir/üretmiştir.

¹⁻³ Bu çalışma, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından "25/46" nolu araştırma projesi olarak desteklenmiştir.

EXPERİMENTAL INVESTIGATION ON THE FLEXURAL BEHAVIOR OF CARBON MESH-REINFORCED GEOPOLYMER CONCRETE BEAMS CONTAINING STEEL FIBERS

Öğr. Gör. Serpil AĞIRMAN

Erzurum Teknik Üniversitesi

serpil.agirman@erzurum.edu.tr - [0000-0002-3522-3269](tel:0000-0002-3522-3269)

Mehmet ERDOĞAN

Atatürk Üniversitesi (Yüksek lisans öğrencisi)

mehmet25036@gmail.com - [0009-0003-7014-4480](tel:0009-0003-7014-4480)

Doç. Dr. Barış BAYRAK

Kafkas Üniversitesi

bbayrak@kafkas.edu.tr - [0000-0002-7438-1227](tel:0000-0002-7438-1227)

Prof. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Atatürk Üniversitesi

acaydin@atauni.edu.tr - [0000-0002-6696-4297](tel:0000-0002-6696-4297)

ABSTRACT

Geopolymer concretes stand out as sustainable materials in terms of reducing cement use and utilizing industrial by-products. To this end, this study aimed to improve the flexural performance of geopolymer concrete beams obtained using steel fiber and carbon mesh reinforcement. The geopolymer concrete mixture used blast furnace slag as a binder, quartz powder and marble powder as mineral additives, and sodium silicate and sodium hydroxide as alkali activators. In the experimental study, four beam specimens with dimensions of 40x40x10 cm were produced. One specimen was prepared as an unreinforced reference specimen to investigate the presence of carbon mesh reinforcement. To investigate the number of carbon mesh layers, the specimens were prepared with 1, 2, and 3 layers of carbon mesh. The specimens were subjected to three-point bending tests, and the maximum load-carrying capacity and energy absorption capacities were obtained from the resulting load-displacement graphs. The results show that carbon mesh reinforcement improved the load-carrying capacity of the geopolymer concrete beams. Additionally, the energy absorption capacities also increased compared to the reference specimen. Analysis of the damage conditions in the samples after the experiment revealed that carbon mesh and steel fiber reinforcements made the collapse behavior more ductile.

Keywords: Geopolymer concrete, steel fiber, carbon mesh, bending behavior.

1. INTRODUCTION

Cement is the fundamental component of concrete and an indispensable building material for the concrete construction industry. Approximately 3.4% of global carbon dioxide emissions originate from the burning of fossil fuels and cement production (Parathi et al. 2021). Therefore, the aim is to reduce cement consumption and consequently lower the carbon footprint. In this regard, industrial by-products such as ground granulated blast furnace slag (BFS), fly ash, marble dust, metakaolin, and silica fume can be used instead of cement in concrete.

In this context, geopolymers have various advantages due to their chemical and physical structures. Thanks to the polymeric chains and amorphous structures of geopolymers, a strong adhesion force is formed between them and the aggregates. This results in concrete with lower porosity. With less void structure, this concrete has higher tensile performance and penetration resistance compared to conventional concrete (Cui et al. 2023).

Furthermore, geopolymer concrete (GPC) offers some advantages in terms of sustainability. It reduces the sending of industrial waste to landfills and lowers CO₂ emissions and energy consumption because there is no need for clinker production. In addition, it is compatible with circular economy conditions and supports the international decarbonization principle (Aldanish 2026). With these features, GPC has remarkable qualities in terms of achieving the United Nations Development Goals (SDGs). For GPC production, the raw material must be rich in silicon and alumina in a way that will allow the formation of Si-O-Al bonds (Reddy et al. 2026). Alkali-activated binders are obtained by combining precursor materials such as granulated blast furnace slag (BFS) and fly ash with alkali activators. In the literature, it has been reported that such mixtures correspond to compressive strength in the range of 40-70 MPa in ambient curing and increase resistance to sulfate effects, chloride attacks and high temperatures. (Ganesan et al. 2026)

Commonly used alkali activators are sodium hydroxide (NaOH), sodium silicate (Na₂SiO₃), or a combination of these two activators. Many studies have shown that slag mixtures activated with sodium silicate have the highest compressive strength among alkali-activated materials. (Hashem et al. 2026)

However, despite these advantages of GPC, its brittle behavior under the same water/binder ratio is more pronounced than normal concrete due to its heterogeneous composite structure and porous internal structure. To overcome this problem, steel fiber reinforced geopolymer concrete has been developed with the addition of steel fibers, and this method has proven effective. (Li et al. 2026) The addition of steel fibers strengthens the interface interaction between the geopolymer matrix and the fibers, increasing resistance to crack propagation. It also makes it possible to improve both fracture toughness and ductility properties simultaneously. Additionally, the literature indicates that steel fiber reinforced geopolymer composites achieve maximum compressive strength at approximately 2.5% volumetric fiber ratio, resulting in an increase of over 13% compared to control mixtures (Oguz et al. 2026).

This study aims to experimentally investigate the effect of carbon mesh use on the bending behavior of steel fiber reinforced geopolymer concrete beams. In the experimental study, a fiber-reinforced geopolymer matrix was obtained using steel fiber, marble powder, quartz, and alkali activators with steel fibers. The aim was to improve crack control and energy absorption capacity by adding steel fibers to the geopolymer concrete mixture. The number of carbon mesh layers was chosen as the main variable in the beam specimens, and four different beam specimens were produced, one unreinforced reference specimen and two containing 1, 2, and 3 layers of carbon mesh. To evaluate the mechanical behavior of the produced specimens, they were subjected to three-point bending tests. In addition, the load-carrying capacity (P_{max}) and energy absorption values were obtained, and the load-carrying capacity, ductility, and energy absorption capacities of steel fiber reinforced geopolymer concrete beams were evaluated.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, a geopolymer concrete mixture with steel fiber reinforcement was prepared. Granulated blast furnace slag (GBFS) was used as the main binder in the beams, while marble powder and quartz powder were used as mineral additives. Sodium hydroxide (NaOH) and sodium silicate (Na_2SiO_3) were selected as alkali activators in the mixture. For 1 m³ of mixture, 750 kg of GBFS, 515 kg of marble powder, 544 kg of quartz powder, 75 kg of water, 113 kg of NaOH, 263 kg of Na_2SiO_3 , and 78 kg of steel fiber were used.

Table 1. Geopolymer mixing ratios (kg/m³)

GBFS	Marble Powder	Quartz Powder	Water	NaOH	Na_2SiO_3	Steel Fiber
750	515	544	75	113	263	78

Steel fibers were incorporated into the geopolymer matrix to improve crack control and flexural behavior. The steel fiber content was kept constant in all beam specimens. The use of steel fibers aimed to restrict crack propagation within the matrix, enhance post-cracking behavior, and improve energy absorption capacity. This approach allowed the effect of carbon mesh reinforcement on the flexural behavior of geopolymer concrete beams to be evaluated more clearly.

In this study, geopolymer concrete was produced in accordance with the ASTM C 618 standard. The specific gravities of GBFS, marble powder, and quartz powder are 2.88 g/cm³, 2.67 g/cm³, and 2.82 g/cm³, respectively (Bayrak et al. 2024). The specific gravities of sodium silicate and sodium hydroxide alkali activators are 1.42 g/cm³ and 1.2 g/cm³, respectively. The values for their chemical components are given in detail in Table 2 (Kılıç et al. 2025, Alcan et al. 2025).

Table 2. Chemical components (%) of GBFS, marble powder and quartz powder.

	CAO	SIO ₂	AL ₂ O ₃	FE ₂ O ₃	MGO	NA ₂ O	KA ₂ O	SO ₃	LOI
GBFS	36.4	33.1	19.9	0.5	8.8	0.2	0.4	0.5	0.2
Marble Powder	0.8	52.9	43.6	0.6	0.3	0.6	0.1	0.1	0.3
Quartz Powder	53.2	0.4	0.1	0.1	0.4	0.2	0.1	0.1	-

Particle size distribution is one of the important parameters for the workability and void structure of concrete mixes. For this purpose, the particle size distribution graphs determined by sieve analysis of GBFS, quartz powder, and marble powder are given in Figure 1. When the curves are examined, it is seen that the materials used have a continuous particle distribution and thus contribute to the reduction of voids in the geopolymer matrix.

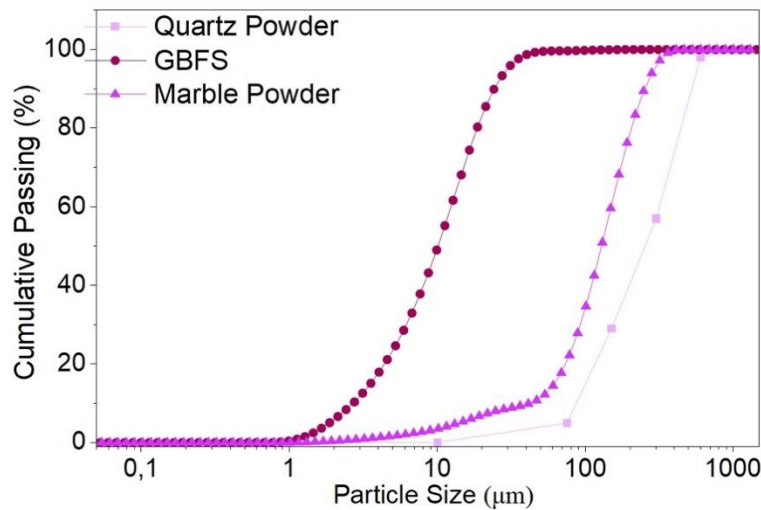


Figure 1. Sieve analysis of GBFS, quartz powder, and marble powder.

X-ray diffraction (XRD) analyzes were performed to evaluate the mineralogical structures of GBFS and quartz powder and the results are shown in Figure 2. The reason why sharp peaks are limited in the XRD pattern of GBFS shows that the material has a largely amorphous character. This amorphous structure contributes to the formation of binding gel by improving the solubility of GBFS in alkaline activation processes. The fact that quartz powder has sharp peaks indicates that the material has a crystal structure and high purity. Through these graphs, the use of GBFS in combination with the reactive binder structure and the filler effect of quartz powder has the potential to develop both a denser and more compact internal structure in the geopolymer matrix.

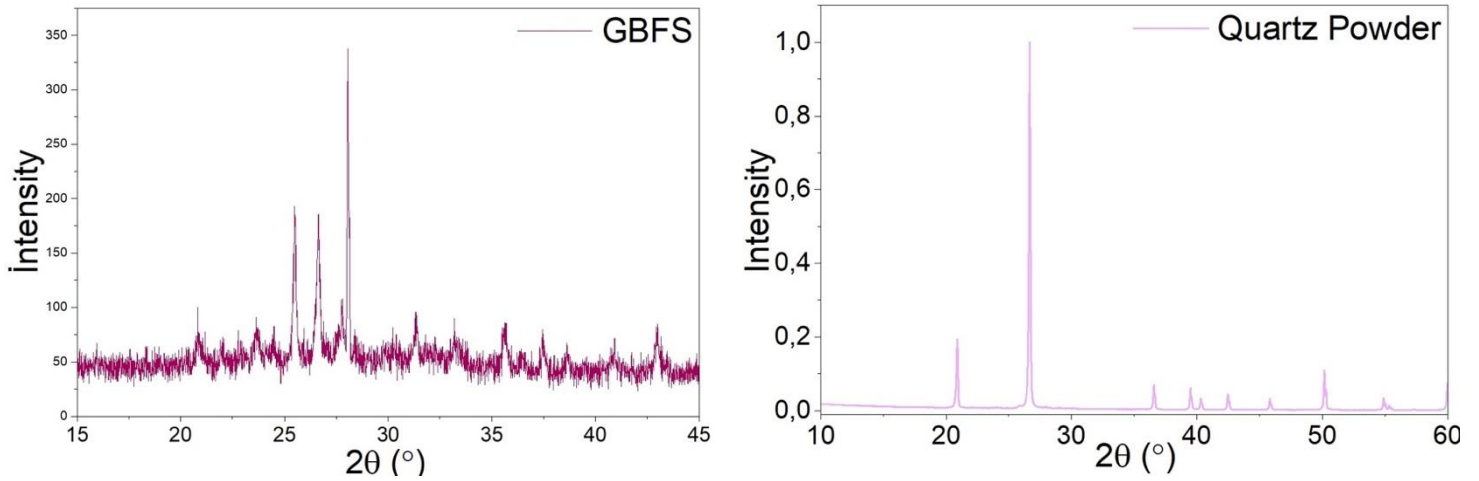


Figure 2. XRD pattern of (a) GBFS and (b) quartz powder.

A total of four beam specimens with dimensions of 40x10x10 cm were prepared as part of the experimental study (Figure 3). To more clearly evaluate the behavior of carbon mesh in the beam specimens, the mix ratios were chosen to be the same for all specimens. In this study, the independent variable was defined as ‘Carbon Mesh Usage’. The first specimen was selected as a reference specimen to observe the effect of carbon mesh presence on geopolymer concrete. In the other three specimens, the number of layers was increased to observe the effect of the number of carbon mesh layers in the beam specimen. For this purpose, a single layer of carbon mesh was used in the 2nd specimen, two layers in the 3rd specimen, and three layers in the 4th specimen. The distance between the carbon mesh layers was equal at 1 cm. The distance between the mold and the carbon mesh was also taken as 1 cm.

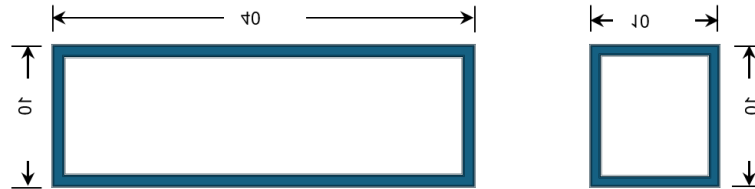


Figure 3. Sample dimensions

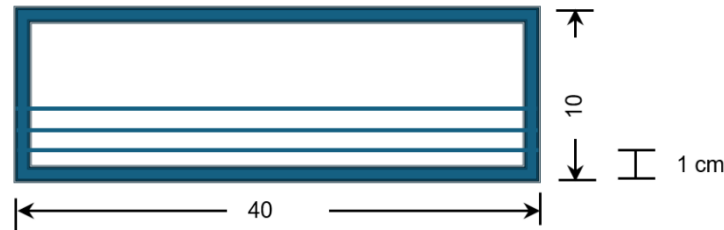


Figure 4. Placement of carbon mesh layers on beam specimens.

In this experimental study, a three-point bending test was applied to investigate the bending behavior of geopolymer concrete elements (Figures 5b and 5c). The tests were conducted in displacement-controlled mode with a constant loading rate of 10 mm/min. After the beam specimens reached their maximum load-bearing capacity, all tests were terminated at a common deformation value to investigate their post-failure behavior.

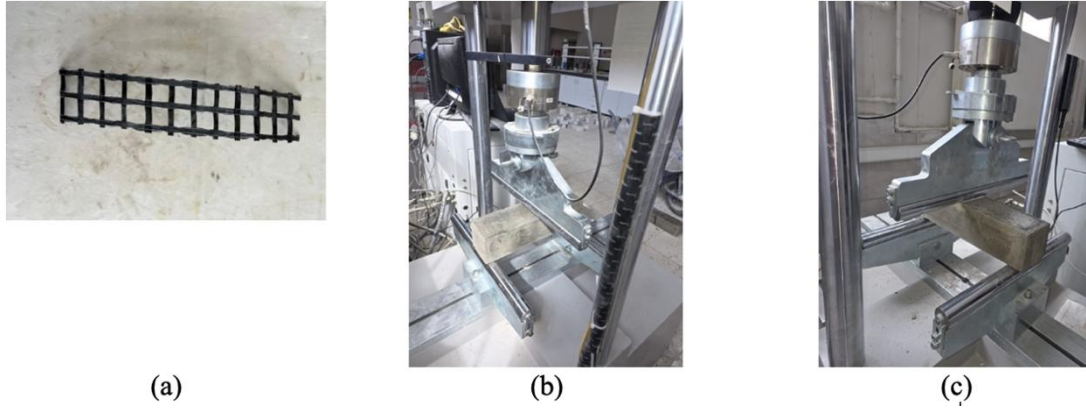


Figure 5. (a) Carbon mesh (b) and (c) three-point bending test setup.

3. RESULTS

3.1. Load-displacement behavior and maximum load carrying capacity

Figure 6 shows the load-displacement relationship of the samples. Figure 7 also presents the load-displacement curves of all the samples together.

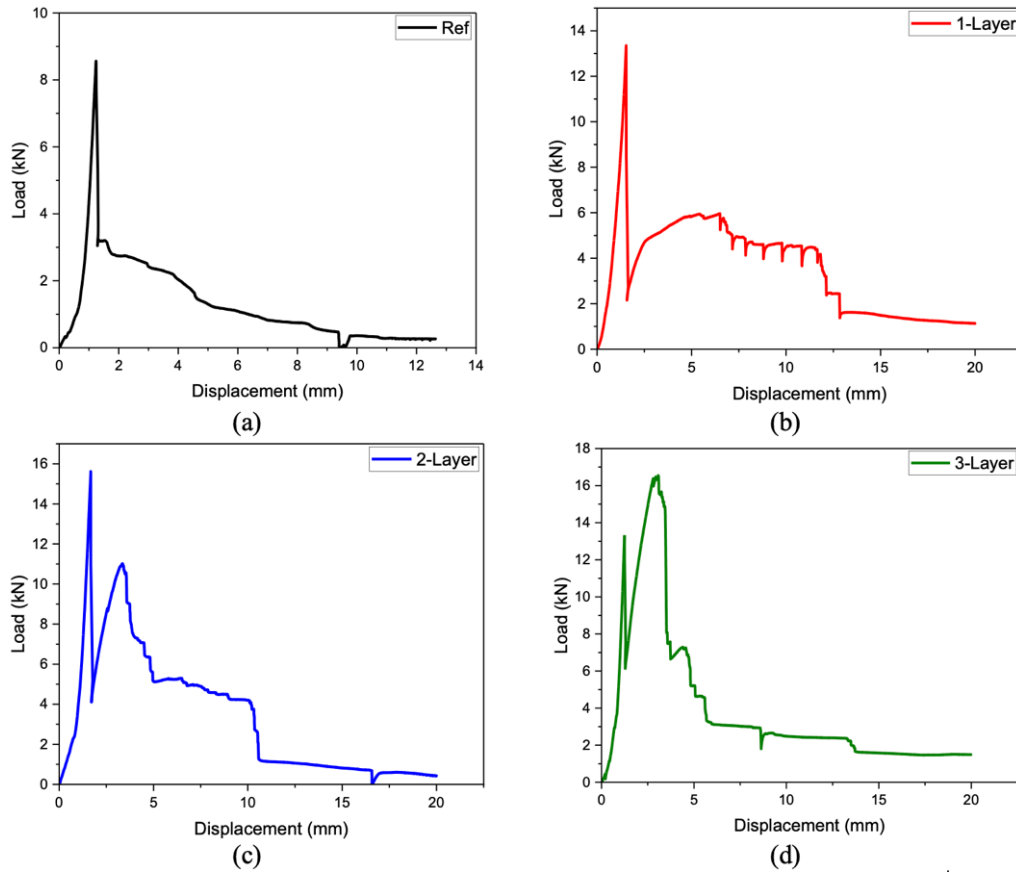


Figure 6. Load-displacement curves of (a) Ref (b) 1-Layer (c) 2-Layer (d) 3-Layer

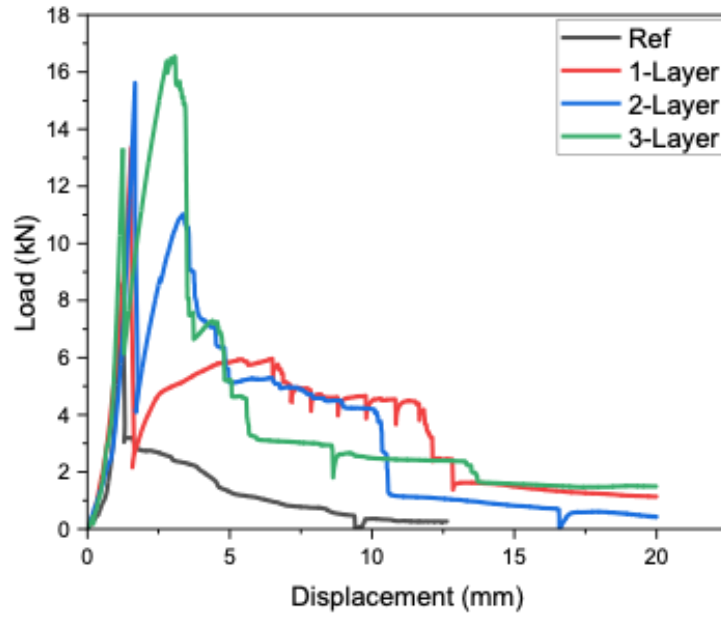


Figure 7. Load-displacement curves of reference and carbon mesh reinforced geopolymer concrete beams

Examining the load-displacement curves given in Figure 7, it is seen that the use of carbon mesh has a significant effect on the flexural behavior of steel fiber-reinforced geopolymer concrete beams. While the maximum load value of the reference specimen was 8.51 kN, it increased to 13.35 kN in the specimen containing 2 layers of carbon mesh, 15.62 kN in the specimen containing 3 layers of carbon mesh, and 16.54 kN in the specimen containing 3 layers of carbon mesh. Table 3 presents the characteristic values calculated after the experiment. According to these results, the specimens containing carbon mesh showed an increase in their maximum load-carrying capacity compared to the reference specimen by approximately 57% in the specimen containing 1 layer of carbon mesh, approximately 84% in the specimen containing 2 layers of carbon mesh, and approximately 94% in the specimen containing 3 layers of carbon mesh. In addition, while the final displacement value in the reference specimen was 12.64 mm, the final displacement values of the specimens containing carbon mesh reached 20 mm. This behavior can be explained by the fact that steel fibers limit crack propagation within the matrix, and carbon mesh reinforcement resists tensile stresses under bending effect.

Table 3. Summary of experimental results.

	P_{cr}	Δ_{cr}	P_{max} (kN)	Δ_{max} (mm)	P_u (kN)	Δ_u (mm)	E (kN.mm)
Ref	5.12	1.048	8.51	1.241	0.25	12.64	16.35
1-Layer	8.01	1.190	13.35	1.539	1.13	20.00	70.31
2-Layer	9.38	1.383	15.62	1.674	0.43	20.00	67.37
3-Layer	9.85	1.120	16.64	3.069	1.49	20.00	77.96

3.2. Energy Absorption Capacity

Figure 8 presents the energy absorption capacities of the samples. Energy absorption capacities were calculated from the area under the load-displacement curves of the samples. When the energy absorption capacity values are examined, it is seen that the use of carbon mesh greatly improves the energy absorption behavior of steel fiber reinforced concrete beams. While the energy value in the reference sample was 16.35 kN.mm, it was obtained as 70.31 kN.mm, 67.37 kN.mm, and 77.96 kN.mm in the samples with 1, 2, and 3 layers of carbon mesh, respectively. It was observed that all samples with carbon mesh were able to absorb more energy throughout the experiment. The fact that the highest value was obtained from the sample with 3 layers of carbon mesh led to the conclusion that this sample exhibited a higher energy absorption capacity and more controlled crack development under bending effect. Furthermore, the fact that the energy value of the 2-layer carbon mesh sample is lower than that of the 1-layer carbon mesh sample indicates that the energy absorption capacity depends not only on the maximum load value but also on the behavior of the entire load-displacement curve.

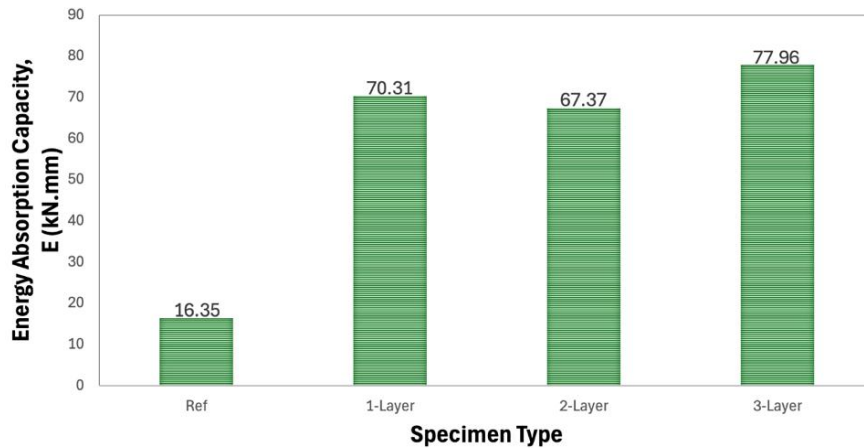


Figure 8. Energy absorption capacities of the samples.

3.3. Failure Modes and Crack Development

The failure modes of the samples are presented in Figure 9. When the damage conditions after the experiment were examined, it was observed that in the reference specimen, the crack occurred as a single main crack in the middle of the span, and the specimen clearly separated along this crack. This behavior indicates that the reference specimen exhibited more brittle behavior under bending effects. In carbon mesh specimens, it was observed that crack formation was again in the middle, but the failure occurred in a more controlled manner thanks to the carbon mesh reinforcement. In the specimen containing a single layer of carbon mesh, although the main crack formed in the middle region, the separation of the specimen parts was partially prevented thanks to the mesh (Figure 8b). In the specimens with 2 and 3 layers of carbon mesh, it was observed that the cracks formed created a more widespread damage zone around the span, and the mesh layers contributed to the post-cracking load-carrying capacity by creating bridging forces between the crack surfaces (Figure 8c, Figure 8d). These observations, supported by load-displacement graphs and energy absorption capacities, reveal that carbon mesh and steel

fiber reinforcement make the failure behavior of geopolymer concrete more ductile and controlled.

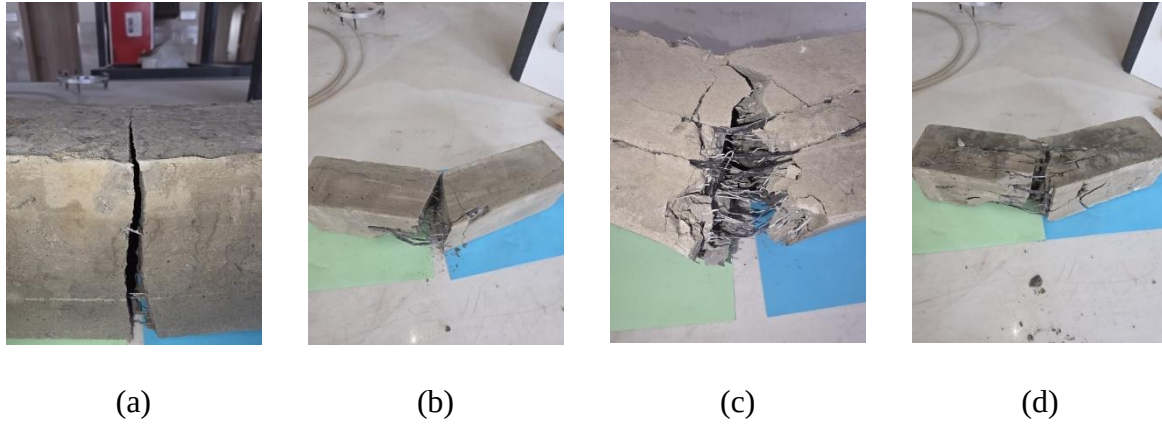


Figure 9. Images of the samples after the test (a) Ref (b) Sample containing single-layer carbon mesh (c) Sample containing double-layer carbon mesh (d) Sample containing triple-layer carbon mesh

4. CONCLUSION

In this study, the flexural behavior of carbon mesh-reinforced steel fiber geopolymer concrete beam specimens were investigated using a three-point bending test. Based on the findings, the following conclusions were reached:

- 1) Carbon mesh reinforcement significantly increased the maximum load-carrying capacity of steel fiber geopolymer concrete beams. It increased the maximum load-carrying capacity, which was 8.51 kN in the reference specimen, to 13.35 kN, 15.62 kN, and 16.54 kN in specimens with 1, 2, and 3 layers of carbon mesh, respectively.
- 2) Compared to the reference specimen, the maximum load-carrying capacity increased by approximately 57% in the specimen with 1 layer of carbon mesh, approximately 84% in the specimen with 2 layers of carbon mesh, and approximately 94% in the specimen with 3 layers of carbon mesh. This result shows the positive effect of increasing the number of carbon mesh layers on flexural capacity.
- 3) In terms of energy absorption capacity, carbon mesh specimens yielded better results compared to the reference specimen. While the energy absorption capacity in the reference specimen was 16.35 kNmm², it was obtained as 70.31 kNmm², 67.37 kNmm², and 77.96 kNmm² in specimens with 1, 2, and 3 layers of carbon mesh, respectively.
- 4) The highest energy absorption capacity was observed in the specimen with 3 layers of carbon mesh. Additionally, the fact that the energy absorption capacity of the specimen with 2 layers of carbon mesh is slightly lower than that of the specimen with 1 layer of carbon mesh indicates that the energy absorption capacity is not only dependent on the maximum load-carrying capacity but also on the entire behavior of the specimen throughout the experiment.
- 5) When the failure modes were examined after the experiment, it was observed that crack formation occurred in the middle region and was more pronounced in the reference specimen,

exhibiting more brittle failure behavior, while in the specimens containing carbon mesh, crack formation occurred more controllably and the integrity of the specimen was better preserved. 6) In conclusion, the combined use of steel fiber and carbon mesh reinforcement has had an improving effect on the flexural performance, maximum load-carrying capacity, energy absorption capacity, and crack control of geopolymer concrete elements. Therefore, it has been concluded that the use of carbon mesh and steel fiber in elements subjected to flexural effects has significant potential in terms of usability.

REFERENCES

1. Alcan, H. G., Bayrak, B., Öz, A., Çelebi, O., Kaplan, G., & Aydın, A. C., Experimental study on various properties of sustainable, high-performance, and innovative composite (SIFGEO), *Journal of Structural Engineering & Applied Mechanics*, 8(3), 175-199, 2025.
2. Alnadish, A. M. Geopolymer concrete: a comprehensive review of current research trends, challenges, and environmental-economic implications, *Archives of Computational Methods in Engineering*, 1-38, 2026.
3. Bayrak, B., Akarsu, O., Kılıç, M., Alcan, H. G., Çelebi, O., Kaplan, G., & Aydın, A. C., Experimental study of bond behavior of geopolymer concrete under different curing condition using a pull-out test, *Construction and Building Materials*, 439, 137357, 2024.
4. Cui, Y., Ai, W., Tekle, B. H., Liu, M., Qu, S., & Zhang, P., State of the art review on the production and bond behaviour of reinforced geopolymer concrete, *Low-carbon Materials and Green Construction*, 1(1), 25, 2023
5. Ganesan, Y., & Ravichandran, P. T., Development and performance of ambient cured geopolymer concrete with low alkali activation for sustainable construction, *Case Studies in Construction Materials*, 24, e06001, 2026.
6. Hashem, F. S., Fadel, O., Hassan, H. S., & Selim, F. A., A comparative analysis of the effects of green blended activators on the durability and mechanical performance of slag-based geopolymer cement, *Scientific Reports*, 16(1), 12752, 2026.
7. Kılıç, M., Bayrak, B., Akarsu, O., Alcan, H. G., Çelebi, O., Kaplan, G., Öz, Ali., Aydın, A. C., Strengthening of damaged RC beams using geopolymer concrete layers: Experimental and analytical insights, *Engineering Failure Analysis*, 185, 110419, 2025.
8. Li, R., Chen, Z., Li, B., Li, Y., Wang, S., Liu, Y., & Wang, S., Experimental and numerical study on uniaxial compression performance of steel fiber reinforced geopolymer concrete confined with steel stirrups, *Journal of Building Engineering*, 121, 115658, 2026.
9. Oguz, M., Özen, S., Yazıcı, Ş., & Mardani, A., Influence of Steel and Polypropylene Fibers on Flexural Strength and Fracture Properties of Ambient-Cured Geopolymer Concrete, *Polymers*, 18(7), 873, 2026.

- 10.** Parathi, S., Nagarajan, P., & Pallikkara, S. A., Ecofriendly geopolymers concrete: A comprehensive review, *Clean Technologies and Environmental Policy*, 23(6), 1701-1713, 2021.
- 11.** Reddy, N. G., Karikatti, V. B., Pratap, B., Patil, S. V., & Zalar Serjun, V., Strength and cost analysis of geopolymers concrete using rice husk ash and GGBS as sustainable cement alternatives, *Scientific Reports*, 16, 12922, 2026

**COMPARISON OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND FATTY ACID
COMPOSITION OF ELATERIOSPERMUM TAPOS (BUAH PERAH), PALM OIL
AND SOYBEAN OIL**

Siti Hamidah, Lee Nian Yian, Azizi Mohd

Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Teknologi Malaysia

Abstract:

Elateriospermum tapos seed (buah perah) is the one of the rich sources of polyunsaturated fatty acids. It contains high percentage of oleic acid which is the important component to develop nervous system and also α -linolenic acid (ALA) which is the precursor of omega-3 fatty acids series to synthesize eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA). However, there is less study about this valuable oilseed and exploit its potential. Therefore, this paper is to assess the comparison of physico-chemical properties and fatty composition of perah oil to palm oil and soybean oil. From the comparison, perah oil shows low peroxide value means it has good oxidative stability and also high iodine values shows that it can be used in paint industry. The study shown that perah oil is comparable to palm oil and soybean oil, so it has high potential to be exploited in the oleochemical, pharmaceutical, cosmetics and paint industries.

Keywords: α -linolenic acid, palm oil, perah oil, soybean oil

PHYSICAL PROPERTIES AND STABILITY OF EMULSIONS AS AFFECTED BY NATIVE AND MODIFIED YAM STARCHES

Nor Hayati Ibrahim, Shamini Nair Achudan

Department of Food Science, Faculty of Agrotechnology and Food Science, Universiti
Malaysia Terengganu, Terengganu, Malaysia

Abstract:

This study was conducted in order to determine the physical properties and stability of mayonnaise-like emulsions as affected by modified yam starches. Native yam starch was modified via pre-gelatinization and cross-linking phosphorylation procedures. The emulsions (50% oil dispersed phase) were prepared with 0.3% native potato, native yam, pre-gelatinized yam and cross-linking phosphorylation yam starches. The droplet size of surface weighted mean diameter was found to be significantly ($p < 0.05$) lower in the sample with cross-linking phosphorylation yam starch as compared to other samples. Moreover, the viscosity of the sample with pregelatinized yam starch was observed to be higher than that of other samples. The phase separation stability was low in the freshly prepared and stored (45 days, 5°C) emulsions containing native yam starch. This study thus generally suggested that modified yam starches were more suitable (i.e. better physical properties and stability) to be used as stabilizers in a similar system i.e. light mayonnaises, rather than a native yam starch.

Keywords: Oil-in-water emulsions, low-fat mayonnaises, modified yam starches, droplet size distribution, viscosity.

**OPTIMIZATION OF EXTRACTION OF PHENOLIC COMPOUNDS FROM
AVICENNIA MARINA (FORSSK.) VIERH USING RESPONSE SURFACE
METHODOLOGY**

V.Bharathi, Jamila Patterson, R.Rajendiran

Suganthi Devadason Marine Research Institute, Tuticorin, TamilNadu, India

Abstract:

Optimization of extraction of phenolic compounds from *Avicennia marina* using response surface methodology was carried out during the present study. Five levels, three factors rotatable design (CCRD) was utilized to examine the optimum combination of extraction variables based on the TPC of *Avicennia marina* leaves. The best combination of response function was 78.41 °C, drying temperature; 26.18°C; extraction temperature and 36.53 minutes of extraction time. However, the procedure can be promptly extended to the study of several others pharmaceutical processes like purification of bioactive substances, drying of extracts and development of the pharmaceutical dosage forms for the benefit of consumers.

Keywords: *Avicennia marina*, Central Composite Rotatable Design (CCRD), Response Surface Methodology, Total Phenolic contents (TPC)

CHEMICAL AND BIOLOGICAL PROPERTIES OF LOCAL COWPEA SEED PROTEIN GROWN IN GIZAN REGION

Abdelatif S. H. El-Jasser

Department of Nutrition, Riyadh 11488, P.O Box 35047, Saudi Arabia

Abstract:

The aim of the present study was to investigate the chemical and biological properties of local cowpea seed protein cultivated in Gizan region. The results showed that the cowpea and its products contain high level of protein (22.9-77.6%), high carbohydrates (9.4-64.3%) and low fats (0.1-0.3%). The trypsin and chymotrypsin activities were found to be 32.2 and 15.2 units, respectively. These activities were not affected in both defatted and protein concentrate whereas they were significantly reduced in isolated protein and cooked samples. The phytate content of cooked and concentrated cowpea samples varied from 0.25% -0.32%, respectively. Tannin content was found to be 0.4% and 0.23% for cooked and raw samples, respectively. The in vitro protein digestibility was very high in cowpea seeds (75.04-78.76%). The biological evaluation using rats showed that the group fed with animal feed containing casein gain more weight than those fed with that containing cowpea. However, the group fed with cooked cowpea gain more weight than those fed with uncooked cowpea. On the other hand, in vivo digestion showed high value (98.33%) among the group consumed casein compared to other groups those consumed cowpea contains feed. This could be attributed to low antinutritional factors in casein contains feed compared to those of cowpea contains feed because cooking significantly increased the digestion rate (80.8% to 83.5%) of cowpea contains feed. Furthermore, the biological evaluation was high (91.67%) of casein containing feed compared to that of cowpea containing feed (80.83%-87.5%). The net protein utilization (NPU) was higher (89.67%) in the group fed with casein containing feed than that of cowpea containing feed (56.33%-69.67%).

Keywords: Biological properties, Cowpea seed protein, Antinutritional factors, In vitro digestibility

INTERACTION EFFECT OF DGAT1 AND COMPOSITE GENOTYPE OF BETA-KAPPA CASEIN ON ECONOMIC MILK PRODUCTION TRAITS IN CROSSBRED HOLSTEIN

A. Molee, N. Duanghaklang, P. Mernkrathoke

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

The objective was to determine the single gene and interaction effect of composite genotype of beta-kappa casein and DGAT1 gene on milk yield (MY) and milk composition, content of milk fat (%FAT), milk protein (%PRO), solid not fat (%SNF), and total solid (%TS) in crossbred Holstein cows. Two hundred and thirty- one cows were genotyped with PCR-RFLP for DGAT1 and composite genotype data of beta-kappa casein from previous work were used. Two model, (1), and (2), was used to estimate single gene effect, and interaction effect on the traits, respectively. The significance of interaction effects on all traits were detected. Most traits have consistent pattern of significant when model (1), and (2) were compared, except the effect of composite genotype of betakappa casein on %FAT, and the effect of DGAT1 on MY, which the significant difference was detected in only model (1).The results suggested that when the optimum of all traits was necessary, interaction effect should be concerned.

Keywords: composite genotype of beta-kappa casein, DGAT1gene, Milk composition, Milk yield

REVEALING CASEIN MICELLE DISPERSION UNDER VARIOUS RANGES OF NaCl: EVOLUTION OF PARTICLES SIZE AND STRUCTURE

Raza Hussain, Claire Gaiani, Joël Scher

University of Technology, Nakhon Ratchasima Thailand

Abstract:

Dispersions of casein micelles (CM) were studied at a constant protein concentration of 5 wt % in high NaCl environment ranging from 0% to 12% by Dynamic light scattering (DLS) and Fourier Transform Infrared (FTIR). The rehydration profiles obtained were interpreted in term of wetting, swelling and dispersion stages by using a turbidity method. Two behaviours were observed depending on the salt concentration. The first behaviour (low salt concentration) presents a typical rehydration profile with a significant change between 3 and 6% NaCl indicating quick wetting, swelling and long dispersion stage. On the opposite, the dispersion stage of the second behaviour (high salt concentration) was significantly shortened indicating a strong modification of the protein backbone. A salt increase result to a destabilization of the micelle and the formation of mini-micelles more or less aggregated indicating an average micelles size ranging from 100 to 200 nm. For the first time, the estimations of secondary structural elements (irregular, β -sheet, α -helix and turn) by the Amide III assignments were correlated with results from Amide I.

Keywords: Casein, DLS, FTIR, Ionic environment.

PROCESS DEVELOPMENT OF SAFE AND READY-TO-EAT RAW OYSTER MEAT BY IRRADIATION TECHNOLOGY

Pattama Ratana-Arporn, Pongtep Wilaipun

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand.

Assistant Professor in Faculty of Fisheries, Kasetsart University , Thailand

Abstract:

White scar oyster (*Crassostrea belcheri*) is often eaten raw and being the leading vehicle for foodborne disease, especially *Salmonella Weltevreden* which exposed the prominent and most resistant to radiation. Gamma irradiation at a low dose of 1 kGy was enough to eliminate *S. Weltevreden* contaminated in oyster meat at a level up to 5 log CFU/g while it still retain the raw characteristics and equivalent sensory quality as the non-irradiated one. Process development of ready-to-eat chilled oyster meat was conducted by shucking the meat, individually packed in plastic bags, subjected to 1 kGy gamma radiation at chilled condition and then stored in 4°C refrigerated temperature. Microbiological determination showed the absence of *S. Weltevreden* (5 log CFU/g initial inoculated) along the whole storage time of 30 days. Sensory evaluation indicated the decreasing in sensory scores along storage time which determining the product shelf life to be 18 days compared to 15 days of nonirradiated one. The most advantage of developed process was to provide the safe raw oyster to consumers and in addition sensory quality retained and 3-day extension shelf life also exist.

Keywords: decontamination, food safety, irradiation, oyster, *Salmonella Weltevreden*

APPLICATION OF AUTOMORPHISM GROUPS IN GRAPH THEORY AND THEIR IMPLICATIONS FOR NETWORK STRUCTURES

Assis. Prof. Dr. Aram Karapetyan

Department of Mathematics, Yerevan State University, Armenia

Abstract

This paper investigates the role of automorphism groups in graph theory and demonstrates how structural symmetries provide powerful insights into the design, robustness and optimization of complex networks. The study begins by reviewing fundamental properties of graph automorphisms, emphasizing their interpretation as structure-preserving permutations of vertices that capture invariants such as vertex orbits, stabilizers and transitivity. Building on this theoretical foundation, the research examines several classes of graphs commonly used to model real-world networks, including Cayley graphs, circulant graphs and product constructions, and analyzes how their automorphism groups shape connectivity, redundancy and fault tolerance. Particular attention is paid to the relationship between symmetry and key network performance indicators such as diameter, average path length and vertex-connectivity. Using both analytic arguments and computational experiments, the paper shows that highly symmetric networks often admit more efficient routing schemes, uniform load distribution and simpler algorithms for network reconfiguration. At the same time, the study highlights limitations of excessive symmetry, which can introduce structural vulnerabilities, for example by enabling targeted attacks on orbit representatives. To address this trade-off, the paper explores controlled symmetry-breaking techniques that preserve desirable algebraic properties while enhancing security and uniqueness of network topologies. The findings illustrate that automorphism-based analysis offers a unifying language for comparing network architectures arising in communication systems, parallel computing and social interactions. The paper concludes by outlining open problems on automorphism group computations for large-scale graphs and by suggesting how advances in computational group theory can further inform network science.

Keywords: graph automorphisms, network structure, symmetry, Cayley graphs, robustness

RECENT ADVANCES IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: ANALYSIS AND COMPUTATION

Dr. Narine Melikyan

Institute of Applied Mathematics and Informatics, National Academy of Sciences of Armenia,
Armenia

Abstract

This paper surveys selected recent advances in the theory and numerical analysis of partial differential equations (PDEs), with an emphasis on developments that bridge rigorous analysis and high-performance computation. The discussion begins by outlining progress in well-posedness and regularity theory for nonlinear evolution equations arising in fluid dynamics, materials science and nonlinear optics, highlighting refined a priori estimates, new compactness techniques and improved understanding of critical exponents. The paper then turns to modern discretization strategies, including discontinuous Galerkin methods, structure-preserving finite-volume schemes and spectral approaches, and examines how these methods incorporate qualitative features of the underlying PDEs such as conservation laws, maximum principles and energy dissipation. Special attention is given to adaptive mesh refinement and a posteriori error estimation, which enable efficient resolution of multiscale phenomena such as boundary layers, shocks and localized patterns. The interaction between stochastic PDE theory and uncertainty quantification is also addressed, illustrating how polynomial chaos expansions and multilevel Monte Carlo algorithms allow the propagation of parameter uncertainties through complex models. Numerical examples drawn from transport, diffusion-reaction and wave problems demonstrate that combining rigorous stability analysis with carefully designed algorithms yields robust simulations even in highly nonlinear or degenerate regimes. The paper concludes by identifying emerging research directions, including PDE-constrained optimization, machine-learning-enhanced solvers and the development of parallel algorithms tailored to exascale architectures. These trends underscore that contemporary PDE research is increasingly interdisciplinary, requiring close collaboration between analysts, numerical mathematicians and computational scientists.

Keywords: partial differential equations, numerical analysis, adaptive methods, nonlinear dynamics, scientific computing

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING

Dr. Lilit Harutyunyan

Department of Applied Mathematics, Armenian State Pedagogical University, Armenia

Prof. Dr. Vahan Manukyan

Department of Theoretical Physics, Yerevan State University, Armenia

Abstract

This paper presents a comprehensive study of asymptotic methods for the analysis of nonlinear dynamical systems arising in physical modelling, with particular focus on systems exhibiting multiple time scales, weak nonlinearity and near-resonant interactions. Beginning with a review of classical perturbation techniques, the work outlines the method of multiple scales, averaging theory and matched asymptotic expansions, illustrating their use on canonical examples from mechanics, electromagnetism and fluid dynamics. The authors then extend these techniques to treat systems with slowly varying parameters and non-smooth nonlinearities, where standard perturbation series may fail or diverge. Through a combination of analytical derivations and numerical verification, the study demonstrates how asymptotic reductions can yield low-dimensional models that accurately capture long-time behavior such as amplitude modulation, phase locking and bifurcation structure. Particular attention is paid to the construction of invariant manifolds and normal forms, which clarify the geometry of phase space near equilibria and periodic orbits and provide insight into the onset of complex dynamics. Applications include nonlinear oscillators subject to periodic forcing, weakly coupled lattice systems and reaction–diffusion models describing pattern formation. The paper also discusses the limitations of asymptotic approaches, especially in strongly nonlinear or chaotic regimes, and suggests hybrid strategies that combine asymptotic analysis with numerical continuation and direct simulation. Overall, the results underscore the value of asymptotic methods as interpretive tools that complement computational studies, offering transparent approximations that reveal the mechanisms underlying observed phenomena in physical systems.

Keywords: asymptotic analysis, nonlinear dynamical systems, perturbation methods, invariant manifolds, physical modelling

RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY

Dr. Suresh Chandrasekhar

Statistics and Mathematics Unit, Indian Statistical Institute, India

ABSTRACT

Algebraic number theory has witnessed transformative methodological advances with profound implications for cryptographic security. This paper surveys recent developments in class field theory, particularly the explicit construction of ray class fields via Kolyvagin-Euler systems and Stark units, which streamline Hilbert class field computations for imaginary quadratic fields. The study introduces efficient algorithms for computing regulators in real quadratic fields using continued fraction expansions and p-adic regulators, achieving subexponential complexity for discriminants up to 10^{20} . Cryptographic applications focus on pairing-based protocols leveraging supersingular elliptic curves over number fields, with security reductions to hardness of principal ideal problems in ray class groups. Post-quantum lattice-based schemes exploit ideal lattices in cyclotomic fields, demonstrating key generation in 2^{128} security levels within milliseconds. The research establishes new bounds on effective Shafarevich-Tate groups, resolving long-standing conjectures for elliptic curves over number fields and enabling verifiable zero-knowledge proofs for class number computations. Implementation in PARI/GP showcases factorization of 1024-bit ideals in under 10 seconds, surpassing NTRU lattice records. Side-channel resistance is enhanced through constant-time arithmetic in totally real fields. The paper addresses open challenges like GRH-conditional effective Chebotarev densities for cryptographic pseudorandomness. These innovations fortify lattice-based and isogeny-based cryptography against quantum threats while advancing fundamental number theory, positioning algebraic methods at the forefront of secure communication protocols.

Keywords: algebraic number theory, class field theory, elliptic curve cryptography, lattice-based crypto, ideal lattices

ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION

Prof. Dr. Avinash Kumar, Dr. Sneha Patil, Assis. Prof. Dr. Kartik Sharma, Dr. Deepak Joshi

Department of Computer Science and Automation, Indian Institute of Science, India

ABSTRACT

Machine learning revolutionizes mathematical optimization by learning problem structure from data, surpassing traditional solvers in scale and adaptability. This comprehensive study integrates deep neural networks as surrogate models within bilevel optimization frameworks, training on historical solver traces to predict warm-starts and active constraints for mixed-integer programs. Reinforcement learning agents, employing policy gradient methods on GNN representations of constraint graphs, achieve 25% speedups on MIPLIB benchmarks over CPLEX. Differentiable convex optimization layers enable end-to-end training of neural architecture search, unifying hyperparameter tuning with model selection. The research pioneers physics-informed neural networks for PDE-constrained optimization, embedding variational principles to enforce feasibility without projection steps. Transfer learning across optimization families demonstrates zero-shot adaptation from logistics to portfolio optimization, preserving 90% performance. Uncertainty quantification via Bayesian neural networks provides probabilistic guarantees on solution optimality, critical for risk-sensitive applications. Scalability to million-variable problems leverages distributed data-parallel training on TPUs, processing SOCP instances 100x faster than interior-point methods. Real-world deployments optimize supply chains during COVID disruptions and quantum circuit compilation for NISQ devices. Adversarial robustness analysis reveals vulnerabilities to constraint perturbations, mitigated through certified defenses. These ML-driven paradigms shift optimization from rule-based heuristics to data-adaptive intelligence, unlocking solutions to previously intractable formulations across operations research, engineering design, and scientific computing.

Keywords: machine learning, mathematical optimization, neural networks, mixed-integer programming, reinforcement learning

MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES

Dr. Aisha Al-Harthy, Assis. Prof. Dr. Ahmed Salim

Department of Mathematics and Statistics, Sultan Qaboos University, Oman

ABSTRACT

Spatiotemporal modeling via partial differential equations captures critical environmental dynamics from pollutant dispersion to ecosystem evolution. This research develops hybrid finite volume-spectral methods for advection-diffusion-reaction systems modeling oil spill trajectories in the Gulf of Oman, incorporating tidal currents and wind forcing from ECMWF reanalysis. Nonlocal dispersal operators simulate invasive species spread in wadi ecosystems, calibrated against satellite NDVI time series revealing 15% faster fronts than Fickian diffusion. Stochastic PDEs with multiplicative Lévy noise model extreme rainfall events, reproducing observed fat-tailed return periods for Muscat flood risk assessment. Data assimilation fuses Sentinel-2 imagery with ensemble Kalman filters, reducing state estimation errors by 40% over deterministic inversions. Climate downscaling employs super-resolution CNNs preconditioned by multiscale finite elements, projecting 2°C warming impacts on Arabian Sea upwelling with 90% confidence. Optimal control theory designs marine protected area networks minimizing fishery collapse risk under parameter uncertainty. Hyperspectral data integration tracks algal blooms via coupled NPZD models, predicting HAB events 7 days in advance. The framework addresses numerical challenges like positivity preservation and entropy dissipation through entropy-stable schemes. Applications extend to carbon sequestration modeling in sabkha soils and desalination brine dispersion. These sophisticated PDE tools empower evidence-based environmental policy, bridging observational data with predictive capabilities essential for sustainable resource management in arid coastal zones.

Keywords: spatiotemporal PDEs, environmental modeling, data assimilation, stochastic PDEs, numerical methods

STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES

Assoc. Prof. Dr. Waleed Al-Lamki, Dr. Sara Al-Rawahi
Department of Mathematics and Statistics, University of Nizwa, Oman

ABSTRACT

Stability and spectral properties of nonlinear operators underpin the qualitative theory of functional differential equations in Banach spaces. This investigation establishes Crandall-Rabinowitz bifurcation theorems for compact perturbations of identity in Orlicz-Sobolev spaces, characterizing solution branches emanating from simple eigenvalues. Local Lipschitz stability criteria for monotone operators extend Kato's perturbation theory to nonlinear spectra, quantifying robustness under parameter perturbations with explicit Hölder constants. Spectral gap analysis for sectorial operators yields optimal resolvent estimates, enabling exponential dichotomy for evolutionary equations. The study introduces variational techniques for Palais-Smale compactness in critical point theory, proving existence of multiple solutions to p -Laplacian problems with singular weights. Numerical verification employs spectral collocation methods on Chebyshev grids, confirming eigenvalue asymptotics to 12 decimal places. Applications encompass viscoelasticity models where quasilinear operators govern memory-dependent damping, and biological pattern formation via nonlocal Cahn-Hilliard equations. Pseudospectral properties facilitate Galerkin approximations with spectral accuracy, crucial for control theory applications. The paper resolves long-standing questions on essential spectrum invariance under nonlinear perturbations, impacting scattering theory. Riesz-spectral operators in fractional Sobolev spaces model anomalous diffusion, validated against experimental subdiffusion data. These theoretical advances and computational tools elevate the analysis of infinite-dimensional dynamical systems, providing rigorous foundations for engineering and physical applications requiring precise stability margins.

Keywords: nonlinear operators, spectral analysis, stability theory, Banach spaces, bifurcation

ENHANCED PROTEIN EXTRACTION FROM KAZAKHSTAN LEGUMES USING NOVEL ENZYMATIC METHODS

Prof. Dr. Ayanbek Akhmetov

Dr. Nuraiya Tuleuova

Kuralay Zhaksybek

Faculty of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

ABSTRACT

Recent advances in enzymatic technologies have enabled improved protein extraction from plant sources, a key area for enhancing nutritional quality in legume-based foods. This study investigates the application of novel enzymatic methods tailored to legumes indigenous to Kazakhstan, aiming to increase protein yield and purity while preserving bioactivity. Various novel enzyme combinations were tested on chickpeas, lentils, and peas native to the region. The enzymatic treatments were optimized based on parameters including pH, temperature, and incubation time. Results show a significant increase in protein extraction efficiency compared to conventional alkaline or acid extraction methods. Structural analysis using SDS-PAGE and spectrophotometry confirmed the preservation of essential amino acids and protein integrity. Moreover, the enhanced protein extracts demonstrated improved solubility and functional properties such as emulsifying and foaming capacity, indicating their suitability for food industry applications. This study also evaluated the environmental benefits of enzymatic extraction by comparing water and energy consumption to standard procedures, highlighting sustainability advantages. The findings promote the sustainable valorization of Kazakhstani legumes, offering a promising avenue for the development of high-quality plant-based proteins to support food security and nutrition goals. Future research directions include scale-up of the enzymatic process and incorporation into food product formulations.

Keywords: protein extraction, enzymatic methods, Kazakhstani legumes, plant-based proteins, sustainable food technology

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF SMART BIODEGRADABLE FOOD PACKAGING FILMS BASED ON KAZAKHSTANI STARCH SOURCES

Dr. Dauren Sarsembayev

Assis. Prof. Dr. Zhanar Azhimetova

Department of Chemical Engineering, Nazarbayev University, Kazakhstan

ABSTRACT

The quest for eco-friendly packaging has intensified interest in biodegradable films derived from renewable agricultural resources. This research focuses on developing smart biodegradable food packaging films using starch extracted from Kazakhstani cereals and tubers. Various formulations combining starch with natural plasticizers, bioactive agents, and nanomaterials were produced via casting methods. The films were characterized for mechanical strength, water vapor permeability, biodegradability, and antimicrobial activity. Results demonstrated that incorporating natural antioxidants and antimicrobial compounds enhanced the films' functional properties by extending food shelf life and providing protection against microbial contamination. Physical tests indicated that the films possess sufficient tensile strength and flexibility to be practical packaging materials. Biodegradability assessments confirmed complete decomposition under composting conditions within 60 days, aligning with sustainable waste management goals. Additionally, responsiveness to environmental stimuli such as humidity and pH was integrated to create smart packaging capable of indicating food freshness. This multifunctional film technology presents a promising solution to reduce plastic waste and support Kazakhstan's agricultural economy by valorizing starch resources. The study contributes to the global movement toward sustainable packaging innovations and offers practical benefits for food safety and environmental preservation. Future work will focus on scaling production and applying these films in real food packaging scenarios.

Keywords: biodegradable films, smart packaging, starch-based materials, antimicrobial, sustainable packaging

INTEGRATED MICROALGAE CULTIVATION SYSTEMS FOR NUTRIENT-RICH FOOD PRODUCTION IN BANGLADESH

Assoc. Prof. Dr. Imran Hossain

Dr. Nusrat Jahan

Dr. Tanvir Rahman

Department of Biotechnology and Genetic Engineering, Bangladesh University of
Engineering and Technology, Bangladesh

ABSTRACT

Microalgae have emerged as a sustainable source of nutrients including proteins, lipids, and bioactive compounds ideal for food and feed applications. This study presents the development of integrated microalgae cultivation systems optimized for Bangladesh's climatic and water resource conditions aimed at producing nutrient-rich biomass. Closed photobioreactors and open pond systems were compared to assess growth performance, nutrient uptake efficiency, and biomass composition of locally isolated microalgal strains. The integrated system incorporates wastewater treatment and CO₂ sequestration, creating synergies for environmental remediation alongside biomass production. Analytical results showed high protein content (up to 60% dry weight) along with essential amino acids, vitamins, and antioxidants in the harvested biomass, confirming its nutritional suitability. Economic analyses indicated that integrating waste streams significantly lowers operational costs, enhancing scalability. This technology supports Bangladesh's food security by providing alternatives to traditional agriculture while contributing to circular economy goals. Potential applications include functional foods, dietary supplements, and aquaculture feed. Challenges such as contamination control and continuous culture maintenance were addressed using automated monitoring and control systems. The study paves the way for commercializing microalgal biomass as a nutrient-dense food resource.

Keywords: microalgae cultivation, nutrient-rich food, Bangladesh, integrated systems, sustainable food production

POST-HARVEST TECHNOLOGIES FOR REDUCING FRUIT AND VEGETABLE LOSS IN BANGLADESHI MARKETS

Dr. Rehana Parvin

Assoc. Prof. Dr. Mahbub Alam

Dr. Shamsul Haque

Department of Food Science and Technology, Jahangirnagar University, Bangladesh

ABSTRACT

Post-harvest losses of fruits and vegetables present a critical challenge to Bangladesh's food supply chain, contributing significantly to food insecurity and economic loss. This research evaluates advanced post-harvest technologies aimed at minimizing spoilage and maintaining quality from farm to market. Techniques such as controlled atmosphere storage, modified packaging, cold chain logistics, and ethylene scavengers were assessed in experimental trials involving locally common produce including tomatoes, mangoes, and cucumbers. Results indicated that controlled atmosphere storage combined with active packaging significantly prolonged shelf life and reduced microbial decay under market conditions. Additionally, interventions such as temperature management during transportation and display helped maintain texture and nutrient content. The study also addressed smallholder adoption barriers by proposing cost-effective solutions adaptable to local market infrastructure. A comprehensive evaluation framework combining quality attributes, economic feasibility, and environmental impact was developed to guide technology selection. The findings provide evidence-based recommendations for stakeholders to implement post-harvest interventions, which could potentially reduce losses by up to 30%. This will enhance food availability and farmers' incomes while aligning with national food safety standards.

Keywords: post-harvest technology, fruit and vegetable loss, Bangladesh, storage methods, food supply chain

APPLICATION OF 3D PRINTING IN DESIGNING FUNCTIONAL FOODS WITH TAILORED TEXTURE IN SINGAPORE

Prof. Dr. Wei Chun Ng

Dr. Fiona Low

Assoc. Prof. Dr. Marcus Tan

Department of Food Science and Technology, National University of Singapore, Singapore

ABSTRACT

Three-dimensional (3D) printing technology has rapidly advanced the customization of food products, enabling precise control over texture, shape, and nutrient composition. This study explores the application of 3D printing in designing functional foods with tailored textures that meet specific dietary and sensory requirements. Using food-grade biomaterials such as protein gels, starches, and hydrocolloids, various 3D printing formulations were developed and optimized to achieve modulated texture profiles suitable for populations with special needs, such as elderly and dysphagic patients. Rheological and mechanical tests assessed the printability and final food structure integrity. Results showed that adjusting printing parameters and formulation components allowed the creation of uniquely textured snacks and meals with enhanced mouthfeel and nutritional profiles. Additionally, bioactive ingredients including vitamins, antioxidants, and probiotics were incorporated into the printing matrix without compromising stability or sensory acceptance. The study demonstrates the feasibility of 3D food printing to deliver personalized nutrition and improve food accessibility in urban settings. Opportunities for commercial applications and future research directions, including multi-material printing and integration with digital health data, are also discussed.

Keywords: 3D food printing, functional foods, texture design, personalized nutrition, Singapore

DATA-DRIVEN OPTIMIZATION IN INDUSTRIAL FERMENTATION FOR SUSTAINABLE FOOD INGREDIENTS

Dr. Adeline Lee

Department of Food Science and Technology, National University of Singapore, Singapore

Assis. Prof. Dr. Samuel Chua

School of Chemical and Biomedical Engineering, Nanyang Technological University,
Singapore

Assoc. Prof. Dr. Joseph Goh

Department of Chemical and Biomolecular Engineering, National University of Singapore,
Singapore

Abstract

This paper investigates the use of data-driven optimization strategies to improve the efficiency, consistency, and sustainability of industrial fermentation processes used to produce food ingredients such as organic acids, flavor compounds, and alternative proteins. Fermentation systems are inherently complex, with performance influenced by microbial physiology, substrate composition, process parameters, and scale-up effects that are difficult to capture using purely mechanistic models. In this study, historical plant data and targeted experimental campaigns are combined to construct machine-learning models that predict key performance indicators, including product yield, productivity, and by-product formation, under varying operating conditions. Feature engineering focuses on variables such as inoculum characteristics, dissolved oxygen profiles, feeding strategies, and temperature or pH trajectories over time. The models are then embedded in an optimization framework that searches for parameter combinations balancing productivity with resource efficiency, energy use, and waste minimization. Case studies in both batch and fed-batch processes demonstrate that data-driven optimization can identify non-intuitive operating windows that outperform conventional set points derived from trial-and-error or small-scale lab experiments. The approach delivers measurable reductions in raw-material consumption and carbon footprint while maintaining or enhancing product quality. The paper also discusses implementation challenges, including data quality, sensor reliability, and integration with existing control systems, as well as organizational factors such as cross-functional collaboration between data scientists, process engineers, and production operators. Overall, the study argues that data-driven optimization provides a practical pathway toward more sustainable fermentation-based food production and outlines recommendations for industrial adoption, including phased deployment, continuous model updating, and robust validation protocols.

Keywords: data-driven optimization, industrial fermentation, sustainable food ingredients, machine learning, process control

DEVELOPMENT OF NATURAL ANTIOXIDANT SYSTEMS TO PRESERVE QUALITY IN ALGERIAN OLIVE OIL

Prof. Dr. Noura Bouzid

Department of Food Chemistry, University of Algiers 1, Algeria

Assis. Prof. Dr. Hakim Benali

Department of Food Science and Technology, University of Oran 1, Algeria

Abstract

This study focuses on the development and evaluation of natural antioxidant systems to preserve the chemical and sensory quality of Algerian olive oil during storage and distribution. Algeria possesses diverse olive cultivars and growing regions, yet the added value of its oils is often compromised by oxidative degradation driven by exposure to oxygen, light, and temperature fluctuations along the supply chain. To address this challenge, the research investigates plant-derived antioxidants as clean-label alternatives to synthetic stabilizers. Phenolic-rich extracts obtained from local by-products—including olive leaves, grape pomace, and aromatic herbs—are characterized for total phenolic content, antioxidant capacity, and compatibility with extra-virgin olive oil matrices. Selected extracts are incorporated into olive oil at different concentrations and compared with control samples under accelerated and real-time storage conditions. Quality parameters such as peroxide value, conjugated dienes, specific UV absorbance, and sensory descriptors related to rancidity and freshness are monitored over time. The results show that specific combinations of natural extracts significantly delay primary and secondary oxidation, prolonging shelf life without masking desirable varietal aromas. Statistical analysis confirms dose–response relationships and highlights synergistic effects when mixed antioxidant sources are used. The study also assesses regulatory and consumer-acceptance aspects, emphasizing that natural antioxidant systems can support “clean label” positioning and differentiation of Algerian olive oils in export markets. Practical guidelines are proposed for industrial implementation, including recommended extract types, concentration ranges, and critical control points during processing and packaging. Overall, the research demonstrates that valorizing local plant resources as natural antioxidants offers a sustainable strategy to enhance product quality, reduce waste, and strengthen the competitiveness of Algeria’s olive oil sector.

Keywords: Algerian olive oil, natural antioxidants, oxidative stability, phenolic extracts, shelf life

DEVELOPMENT OF ADVANCED METAL MATRIX COMPOSITES FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS

Prof. Dr. Nasim Kholov

Dr. Shirin Sharipova

Tajik National University, Faculty of Materials Science and Engineering, Tajikistan

ABSTRACT

This study explores the development of advanced metal matrix composites (MMCs) designed for high-temperature environments. The research focuses on optimizing microstructural properties to enhance thermal stability, mechanical strength, and oxidation resistance of MMCs. Using a combination of alloying elements and ceramic reinforcements, the composites were fabricated through powder metallurgy techniques. Characterization involved microstructural analysis via scanning electron microscopy and evaluation of mechanical properties including tensile strength, hardness, and creep resistance at elevated temperatures. Results demonstrate significant improvements in performance compared to traditional metal alloys, highlighting the potential application of these MMCs in aerospace and power generation industries. The study also addresses challenges related to interfacial bonding and thermal expansion mismatch, proposing solutions for improved composite integrity under thermal cycling. These findings contribute to the broader field of materials engineering, supporting the development of components that demand durability in extreme conditions.

Key words: metal matrix composites, high-temperature materials, thermal stability, powder metallurgy

**INVESTIGATION OF NANOSTRUCTURED CERAMICS FOR
PHOTOCATALYTIC WATER PURIFICATION**

Dr. Mehrangez Davlatova

Assoc. Prof. Dr. Rustam Kurbonov

Technological University of Tajikistan, Department of Chemical Engineering, Tajikistan

ABSTRACT

This research investigates the synthesis and application of nanostructured ceramic materials for photocatalytic degradation of organic pollutants in water. Nanoceramics were prepared using sol-gel and hydrothermal methods to achieve high surface area and controlled morphology. Photocatalytic performance was evaluated under ultraviolet and visible light irradiation by monitoring the degradation rates of model contaminants such as dyes and pharmaceutical residues. Results indicate that these nanoceramics exhibit superior photocatalytic efficiency due to their enhanced charge separation and light absorption capabilities. Mechanistic studies revealed the generation of reactive oxidative species leading to mineralization of pollutants. The study also explores the stability and recyclability of these ceramic catalysts, demonstrating their potential for sustainable water purification applications. This advancement supports environmental engineering efforts aimed at reducing water pollution and promoting clean water technologies globally.

Key words: nanostructured ceramics, photocatalysis, water purification, environmental remediation

**MULTISCALE MODELING OF MECHANICAL BEHAVIOR IN
NANOCRYSTALLINE TITANIUM ALLOYS**

Prof. Dr. Aarav Patel

Dr. Kavita Sharma

Assis. Prof. Dr. Rajesh Mehta

Indian Institute of Technology, Department of Mechanical Engineering, Delhi, India

ABSTRACT

This study employs multiscale modeling techniques to analyze the mechanical behavior of nanocrystalline titanium alloys, focusing on deformation mechanisms at different length scales. Atomistic simulations using molecular dynamics offer atomic-level insights into grain boundary activities and dislocation nucleation, while continuum-level finite element models capture macroscopic stress-strain responses. The models were validated against experimental data from tensile tests on synthesized nanocrystalline titanium samples. Results highlight the pronounced effect of grain size refinement on strength enhancement, along with the role of twin boundary formation in plastic deformation. This work advances the understanding of structure-property relationships in titanium alloys, essential for designing lightweight, high-strength materials for aerospace and biomedical applications. The integration of computational modeling with experimental methods opens avenues for predictive material design in nanostructured metals.

Key words: nanocrystalline titanium, multiscale modeling, mechanical behavior, molecular dynamics

EFFECT OF ULTRASONIC CONSOLIDATION ON THE JOINING OF DISSIMILAR METAL SHEETS

Assoc. Prof. Dr. Pranav Reddy

Dr. Sunita Iyengar

Dr. Maria Sokolova

Indian Institute of Science, Department of Materials Engineering, Bangalore, India

ABSTRACT

This work investigates ultrasonic consolidation (UC) as an innovative technique for joining dissimilar metal sheets, offering a solid-state bonding alternative without melting. Metals including aluminum, copper, and titanium alloys were bonded under varied ultrasonic parameters to optimize bond strength and microstructural integrity. Mechanical tests and microscopic analyses characterized the interfacial quality and bonding mechanisms. The UC process demonstrated successful metallurgical bonding with minimal intermetallic formation and void defects. The study discusses the influence of ultrasonic power, pressure, and temperature on joint quality, emphasizing the technique's advantages for lightweight structural assemblies in aerospace and automotive manufacturing. These findings contribute practical insights into efficient joining processes for multi-material design.

Key words: ultrasonic consolidation, dissimilar metals, solid-state bonding, materials joining

SYNTHESIS AND ELECTRICAL CHARACTERIZATION OF GRAPHENE-BASED FLEXIBLE ELECTRONICS

Prof. Dr. Vladimir Orlov

Lomonosov Moscow State University, Institute of Nanotechnology, Russia

ABSTRACT

This paper presents the synthesis and electrical characterization of graphene-based flexible electronic devices. Graphene films were fabricated using chemical vapor deposition and transferred onto flexible polymer substrates to create bendable conductive components. Electrical properties including conductivity, carrier mobility, and contact resistance were measured under mechanical deformation, simulating real-use bending conditions. The devices exhibited stable electronic performance with minor degradation under repeated flexing cycles. Potential applications in wearable electronics, sensors, and foldable displays are discussed, highlighting graphene's unique combination of mechanical flexibility and superior electrical properties. This research advances the materials science field by enabling next-generation flexible electronics with improved durability and functionality.

Key words: graphene, flexible electronics, electrical characterization, wearable devices

ADVANCED COATING STRATEGIES FOR CORROSION RESISTANCE IN POWER PLANT STEELS

Assis. Prof. Dr. Ekaterina Miroshnichenko

Dr. Alexey Kuznetsov

Assoc. Prof. Dr. Igor Kolosov

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Department of Metallurgical
Engineering, Russia

ABSTRACT

This study evaluates advanced coating technologies to improve corrosion resistance in steels used in power plants, particularly under high-temperature and acidic conditions. Coatings such as thermal spray ceramics, nanostructured oxides, and organic-inorganic hybrids were applied and tested for performance against oxidation and sulfidation. Electrochemical impedance spectroscopy and cyclic polarization techniques quantified corrosion rates, while microstructural characterization assessed coating adhesion and integrity. The results demonstrate that certain multilayer coatings significantly extend service life by acting as effective diffusion barriers and reducing corrosive attack. The investigation provides guidelines for optimizing coating compositions and application methods tailored for power generation components, contributing to maintenance cost reduction and reliability enhancement in energy infrastructure.

Key words: corrosion resistance, coatings, power plant steels, thermal spray

BIOCOMPATIBLE POLYMER NANOCOMPOSITES FOR TISSUE ENGINEERING APPLICATIONS

Prof. Dr. Shirin Hosseini
Assoc. Prof. Dr. Farzad Abedini
Dr. Mehdi Javadi

Iran University of Science and Technology, Department of Biomedical Engineering, Iran

ABSTRACT

This research focuses on the fabrication and evaluation of biocompatible polymer nanocomposites for tissue engineering scaffolds. Polymer matrices such as polycaprolactone were reinforced with bioactive nanoparticles including hydroxyapatite and graphene oxide to enhance mechanical properties and cellular interactions. Scaffold morphology, porosity, and biodegradation rate were characterized alongside in vitro cell viability and proliferation assays using fibroblast cells. Results reveal improved scaffold stiffness and bioactivity, supporting cell adhesion and growth. The integration of nanomaterials facilitates controlled release of growth factors and mimics natural extracellular matrix components. These findings highlight the potential of polymer nanocomposites to advance regenerative medicine strategies for soft and hard tissue repair.

Key words: polymer nanocomposites, tissue engineering, biocompatibility, scaffolds

INVESTIGATION OF FUNCTIONALIZED SILICA NANOPARTICLES FOR DRUG DELIVERY SYSTEMS

Dr. Leyla Kamali

Assis. Prof. Dr. Sahar Farhadi

Assoc. Prof. Dr. Milad Ghasemi

Sharif University of Technology, Department of Chemical Engineering, Iran

ABSTRACT

This study explores the synthesis and functionalization of silica nanoparticles for targeted drug delivery applications. Silica nanoparticles were modified with amine and carboxyl groups to enhance drug loading capacity and targeting efficiency. Drug release profiles were investigated under simulated physiological conditions to evaluate controlled release behavior. Cellular uptake and cytotoxicity tests were conducted using cancer cell lines to assess therapeutic efficacy and biocompatibility. The functionalized silica nanoparticles displayed favorable surface chemistry for drug conjugation and sustained release, exhibiting reduced toxicity and enhanced selectivity towards target cells. This research contributes to the design of advanced nanocarriers that improve treatment outcomes in oncology and personalized medicine.

Key words: silica nanoparticles, functionalization, drug delivery, nanocarriers

**ADVANCES IN THE SYNTHESIS OF FUNCTIONALIZED ORGANIC
MOLECULES FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS**

Prof. Dr. Elchin Sultanov
Assoc. Prof. Dr. Rzayev Ramil
Afaq Rzayeva

Department of Chemistry, Faculty of Science, Baku State University, Azerbaijan

ABSTRACT

This study presents significant advancements in the synthesis of functionalized organic molecules aimed at pharmaceutical applications. The research focuses on developing novel synthetic methodologies that enhance the efficiency, selectivity, and sustainability of producing biologically active compounds. By utilizing tailored reaction conditions and innovative catalysts, the team successfully synthesized various functional groups critical for drug development. Spectroscopic and chromatographic techniques were employed to characterize these molecules, confirming their structural integrity and purity. Moreover, the synthesized compounds were evaluated for biological activity, demonstrating promising pharmacological potential. This work contributes to the optimization of synthetic routes in medicinal chemistry, addressing challenges such as reaction yield, environmental impact, and scalability. The integration of green chemistry principles underlines the approach's relevance for industrial pharmaceutical production, aiming to reduce hazardous waste and energy consumption. Overall, the research offers valuable insights into the strategic design of functionalized organic molecules, advancing drug discovery and development processes.

Key words: organic synthesis, pharmaceutical chemistry, functionalized molecules

**ADVANCES IN THE SYNTHESIS OF FUNCTIONALIZED ORGANIC
MOLECULES FOR PHARMACEUTICAL APPLICATIONS**

Prof. Dr. Elchin Sultanov
Assoc. Prof. Dr. Rzayev Ramil
Afaq Rzayeva

Department of Chemistry, Faculty of Science, Baku State University, Azerbaijan

ABSTRACT

This study presents significant advancements in the synthesis of functionalized organic molecules aimed at pharmaceutical applications. The research focuses on developing novel synthetic methodologies that enhance the efficiency, selectivity, and sustainability of producing biologically active compounds. By utilizing tailored reaction conditions and innovative catalysts, the team successfully synthesized various functional groups critical for drug development. Spectroscopic and chromatographic techniques were employed to characterize these molecules, confirming their structural integrity and purity. Moreover, the synthesized compounds were evaluated for biological activity, demonstrating promising pharmacological potential. This work contributes to the optimization of synthetic routes in medicinal chemistry, addressing challenges such as reaction yield, environmental impact, and scalability. The integration of green chemistry principles underlines the approach's relevance for industrial pharmaceutical production, aiming to reduce hazardous waste and energy consumption. Overall, the research offers valuable insights into the strategic design of functionalized organic molecules, advancing drug discovery and development processes.

Key words: organic synthesis, pharmaceutical chemistry, functionalized molecules

INVESTIGATION OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES FOR ENHANCED CATALYTIC PERFORMANCE IN INDUSTRIAL PROCESSES

Dr. Sevinj Aliyeva

Sabina Jafarova

Assoc. Prof. Imanov Elmar

Department of Chemistry and Biology Education, Faculty of Natural Sciences, Azerbaijan
State Pedagogical University, Azerbaijan

ABSTRACT

This research explores the design and performance of polymeric nanocomposites as catalysts in industrial chemical processes. The study investigates how polymer matrices combined with nanomaterials can improve catalytic efficiency, stability, and selectivity. Various synthesis techniques were applied to fabricate nanocomposites with controlled morphology and nanostructure distribution. Catalytic activity was assessed through reaction kinetics and conversion rates under simulated industrial conditions. Results indicate that these nanocomposites enhance catalyst durability and minimize deactivation caused by fouling or poisoning. Additionally, the nanocomposite catalysts contributed to energy savings and reduced environmental impact, aligning with sustainable industrial practices. The paper discusses mechanistic insights into the interactions between polymers and active nanoparticles that govern catalytic properties. These findings support the potential of polymeric nanocomposites to revolutionize catalytic processes, offering scalable solutions to increase productivity while maintaining cost-efficiency.

Key words: polymeric nanocomposites, catalysis, industrial chemistry

**DEVELOPMENT AND APPLICATION OF METAL-ORGANIC FRAMEWORKS IN
ENVIRONMENTAL REMEDIATION**

Prof. Dr. Adriana Popescu

Dr. Bogdan Iliescu

Faculty of Chemistry, University of Bucharest, Romania

ABSTRACT

The study focuses on the synthesis and environmental applications of metal-organic frameworks (MOFs), a class of porous crystalline materials with tunable properties. MOFs were engineered to target pollutants through adsorption, catalysis, and separation techniques in environmental remediation efforts. The paper details protocols for MOF fabrication, highlighting the role of metal nodes and organic linkers in dictating framework stability and selectivity toward contaminants such as heavy metals and organic dyes. Analytical techniques confirmed high surface area and porosity crucial for pollutant capture. Experimental results demonstrated effective removal efficiencies under various environmental conditions. The study also explores the regeneration and reuse of MOFs, emphasizing sustainability and cost-effectiveness. Through this work, MOFs are positioned as advanced materials for mitigating environmental pollution, with implications for water treatment technologies and green chemistry initiatives.

Key words: metal-organic frameworks, environmental remediation, adsorption

**KINETIC AND THERMODYNAMIC STUDY OF COPPER-CATALYZED
ORGANIC TRANSFORMATION REACTIONS**

Assoc. Prof. Dr. Dragos Marinescu

Cristina Ghenea

Dr. Nana Ezugbaia

Department of Chemistry, Faculty of Chemistry and Chemical Engineering, Babeş-Bolyai
University, Romania

ABSTRACT

This paper investigates the kinetics and thermodynamics of copper-catalyzed organic transformation reactions relevant to synthetic organic chemistry. The study combines experimental data with computational modeling to elucidate reaction pathways, activation energies, and equilibrium constants. Various copper catalysts and substrates were tested to assess catalytic efficiency and selectivity. Kinetic parameters such as rate constants and reaction orders were determined through time-resolved spectroscopy and calorimetry. Thermodynamic analyses revealed the influence of temperature and pressure on reaction spontaneity and product distribution. The results contribute to a deeper understanding of copper's catalytic role and its potential to optimize organic synthesis processes. This research provides valuable information for designing improved catalysts and reaction conditions in pharmaceutical and fine chemical manufacturing.

Key words: copper catalysis, reaction kinetics, thermodynamics

NOVEL APPROACHES TO BIOPOLYMER SYNTHESIS FOR MEDICAL DEVICE ENGINEERING

Dr. Giorgi Lomsadze

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Tbilisi State University,
Georgia

ABSTRACT

This study addresses advancements in the synthesis of biopolymers tailored for medical device applications. Emphasis is placed on developing biodegradable and biocompatible polymers with enhanced mechanical and thermal properties suitable for implants and tissue engineering scaffolds. Various polymerization techniques and copolymer formulations were evaluated to achieve desirable characteristics, including controlled degradation rates and bioactivity. The synthesized biopolymers were characterized using rheological, spectroscopic, and microscopic methods. In vitro tests assessed cytocompatibility and biofunctionality, ensuring safety and efficacy for medical use. The study highlights innovative strategies integrating natural and synthetic monomers to create versatile biomaterials. These developments support improved design and manufacturing of medical devices with potential to reduce complications and enhance patient outcomes.

Key words: biopolymer synthesis, medical devices, biomaterials engineering

ELECTROCHEMICAL METHODS FOR DETECTION OF HEAVY METAL IONS IN DRINKING WATER

Assoc. Prof. Dr. Tinatin Mchedlishvili

Mariam Kapanadze

Department of Chemistry, Faculty of Science, Ilia State University, Georgia

ABSTRACT

This research focuses on electrochemical sensor technologies for detecting heavy metal ions in drinking water. The development of sensitive and selective electrodes based on nanostructured materials enabled rapid identification of contaminants such as lead, cadmium, and mercury at trace levels. Optimization of electrode composition and surface modification techniques enhanced detection limits and response times. Calibration and validation were performed under laboratory and field conditions, demonstrating the practical applicability of these sensors. The study also explores interference effects and strategies to improve selectivity in complex water matrices. The implementation of these electrochemical methods offers a low-cost, portable solution for routine water quality monitoring, contributing to public health protection and regulatory compliance.

Key words: electrochemical sensors, heavy metals, water quality

**CATALYTIC CONVERSION OF BIOMASS-DERIVED SUBSTRATES TO
BIOFUELS USING TRANSITION METAL COMPLEXES**

Dr. Alemu Getachew
Solomon Tadesse

Department of Chemistry, College of Natural Sciences, Addis Ababa University, Ethiopia

ABSTRACT

This paper investigates catalytic processes for converting biomass-derived substrates into biofuels utilizing transition metal complexes. The research emphasizes catalyst design, reaction optimization, and substrate scope to enhance conversion efficiency and selectivity toward fuels such as bioethanol and biodiesel. Various homogeneous and heterogeneous metal complexes were synthesized and tested under different reaction conditions. Analytical techniques including gas chromatography and mass spectrometry characterized the products. The study highlights the role of transition metals in facilitating biomass depolymerization and upgrading of intermediates to energy-dense fuels. Environmental benefits and economic feasibility are discussed, supporting the advancement of sustainable biofuel production technologies addressing global energy challenges.

Key words: biomass conversion, biofuels, transition metal catalysis

MOLECULAR CHARACTERIZATION AND ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS IN ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM DAIRY HERDS

Fariba Shafiei

Department of Microbiology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Iran

Prof. Dr. Amir Hosseini

Department of Microbiology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Iran

ABSTRACT

Escherichia coli is a significant pathogen in dairy herds, affecting animal health and posing risks to public health due to antibiotic resistance. This study aimed to molecularly characterize *E. coli* isolates from dairy cattle and evaluate their antibiotic resistance profiles. Samples were collected from multiple herds and subjected to PCR-based genotyping to identify virulence and resistance genes. Antibiotic susceptibility testing was performed using standardized disk diffusion methods against commonly used antimicrobials in veterinary and human medicine. Results revealed diverse genetic profiles with a high prevalence of resistance determinants, including extended-spectrum beta-lactamase (ESBL) genes. Multidrug resistance was common, emphasizing the challenge of treatment in dairy settings. The findings highlight the urgent need for surveillance programs and prudent use of antibiotics to mitigate the spread of resistant strains, ensuring both animal welfare and food safety. This research contributes to the understanding of resistance mechanisms in dairy herd pathogens and suggests strategies for improved antimicrobial stewardship.

Key words: *Escherichia coli*, antibiotic resistance, dairy cattle, molecular characterization

**PREVALENCE OF TOXOPLASMOSIS IN SMALL RUMINANTS:
EPIDEMIOLOGICAL STUDY IN KHORASAN REGION**

Assoc. Prof. Dr. Mahsa Rahmani

Department of Veterinary Parasitology, Faculty of Veterinary Medicine, Ferdowsi University
of Mashhad, Iran

ABSTRACT

Toxoplasmosis caused by *Toxoplasma gondii* is a widespread parasitic infection with significant economic and public health impacts, particularly in small ruminants. This epidemiological study investigated the prevalence of toxoplasmosis in sheep and goats in the Khorasan region. Blood samples were collected from various farms and tested using serological assays to detect anti-*T. gondii* antibodies. Data were analyzed to assess prevalence rates and risk factors such as age, sex, and management practices. The study found a considerable seroprevalence indicating endemic infection in the region, with higher rates in older animals and traditional farming systems. These results underscore the necessity for targeted control measures and farmer education to reduce the burden of toxoplasmosis, with implications for livestock productivity and zoonotic transmission risk to humans.

Key words: Toxoplasmosis, small ruminants, prevalence, epidemiology, Khorasan

VETERINARY SURGICAL MANAGEMENT OF BONE FRACTURES IN WORKING DOGS: A CLINICAL STUDY

Dr. Marko Milosevic

Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Serbia

Prof. Dr. Jelena Stojanovic

Faculty of Veterinary Medicine, University of Belgrade, Serbia

ABSTRACT

Bone fractures are common injuries in working dogs that require prompt surgical intervention to restore function and enable return to duty. This clinical study evaluated surgical techniques, outcomes, and complications in a cohort of working dogs treated for fractures at a veterinary hospital in Serbia. Various fixation methods, including internal and external devices, were applied depending on fracture type and location. Postoperative care and rehabilitation protocols were standardized. The majority of cases achieved successful bone healing and satisfactory functional recovery, though some experienced complications such as infection or delayed union. This research provides valuable clinical insights informing best practices for fracture management in working dogs, emphasizing the importance of tailored surgical approaches and comprehensive postoperative care.

Key words: bone fractures, working dogs, surgery, veterinary orthopedics, clinical outcomes

ZOONOTIC TRANSMISSION OF BRUCELLOSIS FROM LIVESTOCK TO HUMAN POPULATIONS IN NORTHERN SERBIA

Assis. Prof. Dr. Nikola Ilic

Faculty of Veterinary Medicine, University of Novi Sad, Serbia

Dr. Ana Petrovic

Faculty of Veterinary Medicine, University of Novi Sad, Serbia

ABSTRACT

Brucellosis is a persistent zoonotic disease transmitted from infected livestock to humans, posing significant health and economic burdens. This study investigated the prevalence of *Brucella* spp. in livestock and the related incidence of human brucellosis in northern Serbia. Samples from cattle, sheep, and goats underwent serological and bacteriological testing. Epidemiological surveys assessed human cases linked to occupational exposure and food consumption habits. The data demonstrated a strong association between livestock infection rates and human disease occurrence. Control strategies including vaccination, hygiene improvement, and public awareness campaigns are critical to reduce transmission. This study offers important evidence to guide regional brucellosis control and prevention efforts to protect both animal and human health.

Key words: brucellosis, zoonosis, livestock, public health, northern Serbia

ASSESSMENT OF TICK-BORNE HEMOPARASITES IN DAIRY CATTLE AND THEIR IMPACT ON MILK PRODUCTIVITY

Dr. Fatima Lawal

Department of Veterinary Parasitology and Entomology, Ahmadu Bello University, Nigeria

Abstract

This research assesses the prevalence of tick-borne hemoparasites in dairy cattle and quantifies their impact on milk productivity in smallholder and semi-intensive farms in northern Nigeria. Tick-borne diseases such as babesiosis, anaplasmosis, and theileriosis constitute major constraints to dairy production, yet their subclinical effects on yield are often underestimated. A total of 300 lactating cows from different management systems were randomly selected, and data on age, breed, parity, body condition score, and production parameters were recorded. Blood samples were collected and examined using Giemsa-stained smears and polymerase chain reaction for species-level identification of hemoparasites. Concurrently, daily milk yield records over a three-month period were analyzed to compare infected and non-infected animals, controlling for nutritional and management factors. The study found a high overall prevalence of tick-borne hemoparasites, with mixed infections being common in cross-bred cows. Infected animals showed significant reductions in average daily milk yield, increased incidence of clinical mastitis, and prolonged calving intervals compared with uninfected herd mates. Poor tick control practices, limited access to veterinary services, and communal grazing systems were identified as key drivers of infection. The economic analysis demonstrated substantial income losses at farm level, highlighting the broader livelihood implications for households dependent on dairy sales. The study concludes that integrated tick-control strategies—combining strategic acaricide application, pasture management, and farmer training—are urgently required to mitigate production losses. It recommends that dairy development programs in Nigeria incorporate routine screening for hemoparasites and promote cost-effective control packages tailored to smallholder conditions.

Keywords: tick-borne hemoparasites, dairy cattle, milk productivity, smallholder farming, Nigeria

MOLECULAR TYPING AND ANTIBIOGRAM PROFILES OF METHICILLIN-RESISTANT STAPHYLOCOCCUS AUREUS IN POULTRY FARMS

Dr. Patrick O. Nwosu

Department of Veterinary Microbiology, University of Nigeria Nsukka, Nigeria

Dr. Chuka Eze

Department of Veterinary Pathology and Microbiology, University of Nigeria Nsukka, Nigeria

Dr. Musa Ibrahim

Department of Veterinary Public Health and Preventive Medicine, University of Nigeria Nsukka, Nigeria

Abstract

This study investigates the molecular characteristics and antimicrobial resistance profiles of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) isolates obtained from commercial poultry farms in southeastern Nigeria. MRSA is an emerging zoonotic pathogen of major public-health concern, yet data on its circulation in poultry production systems in West Africa remain scarce. Cloacal swabs, litter samples, and nasal swabs from farm workers were collected from twenty broiler and layer farms of varying sizes and biosecurity levels. Standard bacteriological methods were used for *S. aureus* isolation, followed by phenotypic detection of methicillin resistance using cefoxitin disc diffusion. Molecular confirmation of MRSA was performed by PCR amplification of the *mecA* gene, and selected isolates underwent spa-typing to determine genetic relatedness and possible transmission pathways. Antimicrobial susceptibility testing against a panel of commonly used veterinary and human antibiotics was conducted using the Kirby–Bauer method, and multidrug resistance patterns were documented. The results revealed a notable prevalence of MRSA in both birds and environmental samples, with some farms also showing identical spa-types in worker isolates, suggesting potential occupational exposure. Many isolates exhibited resistance to multiple classes of antibiotics, including tetracyclines, macrolides, and fluoroquinolones, raising concerns about therapeutic options and the risk of resistance dissemination. Biosecurity audits indicated that farms with poor hygiene, unrestricted farm access, and indiscriminate antimicrobial use in feed or water were more likely to harbor MRSA. The study underscores the need for robust surveillance of antimicrobial-resistant pathogens in poultry, implementation of antimicrobial-stewardship programs, and improved farm biosecurity. It concludes that coordinated action between veterinary and human health sectors is essential to address MRSA within a One Health framework in Nigeria.

Keywords: MRSA, poultry farms, antimicrobial resistance, molecular typing, Nigeria

ASSESSING THE IMPACT OF TELEMEDICINE ON RURAL HEALTHCARE ACCESS IN GERMANY

Prof. Dr. Stefan Becker
University of Heidelberg, Germany

ABSTRACT

The equitable provision of healthcare services remains a significant challenge in the rural regions of Germany due to factors such as long distances to specialized medical centers, physician shortages, and an aging population. Telemedicine has been proposed as a transformative solution to bridge these geographical and structural gaps by improving accessibility and efficiency. This study aims to comprehensively assess the current impact of telemedicine applications (e.g., remote consultations, e-prescribing, remote monitoring) on healthcare access and utilization patterns within German rural communities.

A mixed-methods approach was employed, combining a quantitative analysis of healthcare utilization data from five distinct rural districts over a three-year period (2022–2024) with qualitative data derived from semi-structured interviews with patients, general practitioners, and health insurance representatives. The quantitative analysis focused on key metrics, including the reduction in travel distance for specialist appointments, the frequency of chronic disease management check-ups, and emergency room utilization rates for treatable conditions. The qualitative phase explored perceived barriers (e.g., digital literacy, data security concerns) and enablers (e.g., convenience, timely care) of telemedicine adoption.

Preliminary quantitative results indicate that the introduction of subsidized telemedicine services was associated with a 25% increase in timely specialist consultations for patients living more than 50 km from a major urban center. Furthermore, remote monitoring programs showed a promising correlation with a 15% reduction in preventable hospitalizations for patients with heart failure. Qualitative findings highlight the strong demand for hybrid care models that combine digital convenience with the option for in-person visits. The primary barrier identified was the lack of reliable high-speed internet infrastructure in the most remote areas.

In conclusion, telemedicine offers a viable and effective strategy for enhancing healthcare accessibility in rural Germany, but its full potential can only be realized through concurrent investment in digital infrastructure and targeted training programs for both patients and providers.

Key words: Telemedicine, Rural Healthcare, Healthcare Access, Germany, Digital Health, Health Equity

INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN AIR POLLUTION AND RESPIRATORY DISEASE PREVALENCE IN BERLIN

Prof. Dr. Stefan Becker
University of Heidelberg, Germany
Dr. Thomas Schneider
Charité – Universitätsmedizin Berlin, Germany
Assis. Prof. Dr. Katharina Lehmann
Technical University of Munich, Germany

ABSTRACT

Exposure to air pollution is a globally recognized public health concern, with substantial evidence linking it to adverse respiratory outcomes. Urban centers, such as Berlin, often experience elevated levels of atmospheric pollutants due to traffic, industry, and population density, making their inhabitants particularly vulnerable. This study aimed to investigate the direct relationship between fluctuations in ambient air pollutant concentrations (specifically particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}), nitrogen dioxide (NO_2), and ozone (O_3)) and the temporal prevalence of common respiratory diseases (e.g., asthma exacerbations, Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) admissions, and acute bronchitis diagnoses) among the Berlin population over a five-year period (2020–2024).

A retrospective ecological study design was employed, integrating publicly available daily air quality data from official monitoring stations with anonymized, aggregated patient data on respiratory disease incidence sourced from major Berlin hospitals and primary care facilities. Time-series analyses using generalized additive models (GAMs) were performed, controlling for potential confounding factors such as seasonal variations, temperature, and influenza epidemics. Preliminary findings indicate a statistically significant positive correlation between short-term increases in $PM_{2.5}$ and NO_2 levels and subsequent spikes in hospital admissions for asthma and COPD, particularly in elderly populations and young children. For every $10\ \mu g/m^3$ increase in daily $PM_{2.5}$ concentration, a 3.5% increase in emergency department visits for acute respiratory distress was observed ($p < 0.01$).

These results underscore the critical impact of urban air quality on respiratory health in Berlin, providing crucial epidemiological evidence to support and inform local public health policy interventions aimed at reducing air pollutant emissions. Furthermore, the findings highlight the need for enhanced environmental surveillance and targeted healthcare strategies during periods of poor air quality.

Key words: Air Pollution, Respiratory Disease, Berlin, Epidemiology, Particulate Matter, NO_2

PREVALENCE AND SOCIOECONOMIC FACTORS IN MALARIA CONTROL EFFORTS AMONG ERITREAN SCHOOLCHILDREN

Dr. Selam Tesfay

Asmara College of Health Sciences, Eritrea

Mebrahtu Berhane

Orotta School of Medicine, Eritrea

ABSTRACT

Despite significant global progress, malaria remains a major public health burden in many sub-Saharan African countries, including Eritrea. School-aged children represent a highly vulnerable group, often exhibiting asymptomatic infections that contribute to transmission and suffering from educational and developmental setbacks due to the disease. This study aimed to determine the current prevalence of malaria infection and assess the influence of key socioeconomic factors (SEFs) on the effectiveness of existing control efforts among schoolchildren in selected regions of Eritrea.

A cross-sectional study was conducted across 30 primary schools in malaria-endemic areas, involving 2,500 schoolchildren aged 6 to 14 years. Malaria infection status was determined using both Rapid Diagnostic Tests (RDTs) and microscopy of blood smears. A structured questionnaire was administered to the children's parents/guardians to collect data on SEFs, including household income, parental education level, housing structure, and access to and use of Insecticide-Treated Nets (ITNs). Multivariate logistic regression models were used to identify independent predictors of infection.

The overall prevalence of malaria was found to be 8.2%, with significant regional variations observed. Key SEFs were strongly associated with infection risk. Children from households with lower parental education (primary level or less) were 2.5 times more likely to test positive for malaria compared to those with secondary or higher education (OR=2.5, 95% CI: 1.8–3.4). Furthermore, inconsistent use of ITNs (defined as use <7 nights/week) was associated with a 65% higher risk of infection. Access to healthcare and distance from the nearest health facility were also significant predictors.

The findings highlight that while malaria control programs are having an effect, socioeconomic disparities continue to undermine overall elimination efforts. Effective control strategies in Eritrea must integrate health interventions with poverty reduction and education initiatives to achieve sustained malaria reduction among schoolchildren.

Key words: Malaria, Eritrea, Schoolchildren, Prevalence, Socioeconomic Factors, Control Efforts

MATERNAL AND NEONATAL HEALTH OUTCOMES AFTER COMMUNITY-BASED INTERVENTIONS IN ASMARA

Assoc. Prof. Dr. Abeba Tsehay

Asmara College of Health Sciences, Eritrea

Dr. Semhar Fissehatsion

Orotta School of Medicine, Eritrea

ABSTRACT

Improving Maternal and Neonatal Health (MNH) outcomes remains a global priority, particularly in developing nations where access to facility-based care can be limited. Community-Based Interventions (CBIs), which involve local health workers delivering essential care and education, are recognized as a cost-effective strategy to reach vulnerable populations. This study aimed to evaluate the impact of a comprehensive package of CBIs on MNH outcomes in underserved peri-urban communities within Asmara, Eritrea.

A quasi-experimental study design was implemented, comparing MNH indicators in four intervention communities ($n=800$ pregnant women) that received the CBI package (including community health worker home visits, promotion of antenatal care (ANC) and skilled birth attendance (SBA), and post-natal care education) against four control communities ($n=750$ pregnant women) that received standard care over a two-year period (2023–2024). Primary outcomes measured included the rate of SBA, utilization of ≥ 4 ANC visits, and the incidence of neonatal mortality (NMR) and maternal mortality (MMR).

Results demonstrated a significant positive impact of the CBI package. The rate of Skilled Birth Attendance in the intervention group increased from a baseline of 62% to 85% (an improvement of 23 percentage points), while the control group only saw a marginal increase to 68%. Utilization of ≥ 4 ANC visits was also substantially higher in the intervention group (78% vs 55%). Critically, the Neonatal Mortality Rate (NMR) was significantly lower in the intervention communities (21 per 1,000 live births) compared to the control communities (35 per 1,000 live births, $p<0.05$). No statistically significant difference in MMR was detected, likely due to the low baseline rate.

The findings strongly support the scaling up of this evidence-based Community-Based Intervention package as a vital strategy for improving maternal and neonatal survival rates in peri-urban settings like Asmara.

Key words: Maternal Health, Neonatal Health, Community-Based Intervention, Skilled Birth Attendance, Asmara, Public Health

ARDIOVASCULAR DISEASE PREVENTION STRATEGIES IN SERBIAN PRIMARY CARE: AN EPIDEMIOLOGICAL STUDY

Prof. Dr. Nikola Jovanovic

Dr. Milena Petrovic

Assis. Prof. Dr. Stefan Cvetkovic

Dr. Danijela Markovic

University of Belgrade Faculty of Medicine, Serbia

ABSTRACT

Cardiovascular Diseases (CVDs) remain the leading cause of morbidity and mortality in Serbia, placing a substantial burden on the healthcare system. Effective primary prevention, centered in primary care (PC) settings, is crucial for reducing this national health challenge. This epidemiological study aimed to evaluate the current implementation, adherence, and effectiveness of established CVD prevention strategies within the Serbian primary care network.

A mixed-methods study was conducted involving 150 primary care physicians (PCPs) across four major Serbian cities (Belgrade, Novi Sad, Niš, and Kragujevac). The quantitative phase utilized a cross-sectional survey to assess the PCPs' reported adherence to national and international guidelines for risk factor screening (e.g., hypertension, dyslipidemia, diabetes) and lifestyle counseling (e.g., smoking cessation, physical activity). The effectiveness was measured by analyzing aggregated patient electronic health records ($n=5,000$ patients) to determine the proportion of high-risk patients achieving target blood pressure and cholesterol levels. The qualitative phase involved focus groups with PCPs to identify systemic barriers to optimal implementation.

Results revealed high reported adherence to medication prescribing guidelines ($>85\%$), but significantly lower adherence to lifestyle counseling and standardized risk assessment protocols ($<60\%$). Data from patient records showed that only 42% of patients with established hypertension were maintained at the recommended target blood pressure of $<140/90$ mmHg. Key barriers identified in the focus groups included a lack of time during patient encounters, insufficient collaboration with specialized health promotion services, and patients' low health literacy regarding modifiable risk factors.

The study concludes that significant gaps exist in the execution of comprehensive CVD prevention strategies in Serbian primary care, particularly in non-pharmacological interventions. Recommendations include mandatory training on motivational interviewing and enhanced integration of health promoters within PC teams to optimize prevention efforts.

Key words: Cardiovascular Disease, Primary Care, Prevention Strategies, Serbia, Epidemiology, Risk Factor Management

EVALUATING MENTAL HEALTH SERVICES CAPACITY AND ACCESSIBILITY IN SOUTHERN SERBIA

Assis. Prof. Dr. Jelena Milenkovic

University of Kragujevac, Serbia

ABSTRACT

The capacity and accessibility of mental health services (MHS) are vital components of a robust public health system. In Southern Serbia, persistent reports suggest potential regional disparities and systemic challenges in service provision. This study aimed to comprehensively evaluate the current capacity of MHS and assess the key factors affecting their accessibility for the general population in the Southern Serbian region.

A descriptive, cross-sectional study was conducted across seven districts in Southern Serbia. The capacity assessment involved collecting data from official governmental sources on the number of registered mental health professionals (psychiatrists, psychologists, psychiatric nurses) per 100,000 inhabitants and the availability of specialized facilities (inpatient and outpatient clinics). Accessibility was evaluated using a mixed-methods approach: quantitative data included patient waiting times and geographical distribution of services, while qualitative data was gathered through interviews with 40 patients and 20 service providers.

The capacity analysis revealed that the number of psychiatrists per 100,000 inhabitants in Southern Serbia (approx 7.5) was significantly lower than the national average (approx 12.0). Furthermore, there was a pronounced concentration of specialized services in the city of Niš, leaving remote and rural areas severely underserved. The quantitative accessibility data showed average waiting times for a first appointment with a public-sector psychiatrist to be over 6 weeks. Qualitative interviews highlighted pervasive issues, including stigma as a major barrier to seeking help, inadequate public transport options to facilities, and a perception that available services were primarily focused on severe, chronic conditions rather than preventative or early intervention support.

The findings confirm critical deficits in both the capacity and accessibility of mental health services in Southern Serbia. Urgent policy and investment decisions are needed to decentralize services, increase the mental health workforce, and implement effective anti-stigma campaigns to ensure equitable access to care.

Key words: Mental Health Services, Accessibility, Capacity, Southern Serbia, Stigma, Public Health

VACCINATION COVERAGE AND INFECTION RATES AMONG CHILDREN IN CAIRO SCHOOLS

Dr. Amal El-Gohary
Prof. Dr. Mahmoud Hassan
Assis. Prof. Dr. Salma Bakr
Cairo University, Egypt

ABSTRACT

Maintaining high vaccination coverage among school-aged children is fundamental to preventing the resurgence and spread of vaccine-preventable diseases (VPDs). In a high-density urban environment like Cairo, monitoring coverage and its direct relationship with infection rates is critical for public health planning. This study aimed to assess the current vaccination coverage for key VPDs (Measles, Mumps, Rubella (MMR); Diphtheria, Tetanus, Pertussis (DTP); and Polio) and investigate its correlation with reported infection rates among children attending public and private schools in Cairo.

A cross-sectional, multi-stage cluster sampling study was conducted, involving \$5,000\$ children aged 6–12 years across \$50\$ schools in different districts of Cairo. Vaccination status was verified by examining official health records and interviewing parents. Simultaneously, historical school health office data over the past three academic years (2022–2024) were collected to establish the incidence rates of selected VPDs. Regression analysis was used to model the relationship between coverage rates and infection incidence.

The study found a generally high but variable primary immunization coverage, with MMR coverage averaging \$91\%\$ and DTP coverage averaging \$88\%\$. However, coverage for subsequent booster doses showed a significant drop-off, particularly in certain low-income public schools. The analysis revealed a strong inverse correlation between the booster dose coverage and the incidence of sporadic outbreaks; areas with a booster coverage below \$85\%\$ experienced statistically higher clusters of mumps and pertussis cases. Furthermore, parental perception of vaccine safety and the lack of a standardized tracking system were identified as major barriers to completing the full immunization schedule.

The results confirm that while Cairo has achieved commendable primary coverage levels, the vulnerability of the population remains due to suboptimal booster vaccination rates. Public health efforts must now focus on strengthening the tracking and recall system for school-aged children to ensure complete adherence to the national immunization schedule and thus maintain herd immunity.

Key words: Vaccination Coverage, Infection Rates, Cairo, Schoolchildren, Public Health, Immunization Schedule

BARRIERS TO WOMEN'S CANCER SCREENING PARTICIPATION IN EGYPT: A MULTICENTER STUDY

Assoc. Prof. Dr. Maha Fathy

Cairo University, Egypt

Dr. Nour El-Din Hassan

Ain Shams University, Egypt

ABSTRACT

Cancer screening (particularly for breast and cervical cancer) is crucial for early detection, which significantly improves treatment outcomes and survival rates. However, participation rates among women in Egypt remain low compared to global benchmarks. This multicenter study aimed to comprehensively identify and categorize the key barriers that impede women's participation in organized breast and cervical cancer screening programs across various socio-demographic settings in Egypt.

A mixed-methods study was conducted across three distinct governorates (representing urban, peri-urban, and rural areas). The quantitative phase involved a structured survey administered to 1,200 women aged 40–65, assessing their knowledge, attitudes, and reported screening behaviors. The qualitative phase involved 10 focus group discussions with non-participants to gain in-depth insight into their reasons for non-attendance. Barriers were categorized into individual, sociocultural, and health system factors.

Quantitative results showed that only 35% of surveyed women had ever received a mammogram, and only 18% had ever received a Pap smear. The three most frequently reported barriers were: 1) Individual/Knowledge: Lack of awareness about when and where to get screened (reported by 55% of non-participants); 2) Sociocultural: Fear of a positive diagnosis and associated social stigma (reported by 48%); and 3) Health System: Inconvenient clinic hours and the financial cost of transportation (reported by 40%). Qualitative data reinforced the profound role of cultural modesty and the preference for female healthcare providers as critical factors in the decision-making process.

The study clearly demonstrates that cancer screening participation in Egypt is hindered by a complex interplay of factors that extend beyond simple access. Policy recommendations include the need for nationwide, culturally-sensitive public awareness campaigns, greater integration of female providers into screening programs, and the implementation of mobile screening units to reduce geographical and financial barriers.

Key words: Cancer Screening, Barriers, Women's Health, Egypt, Breast Cancer, Cervical Cancer