

PROCEEDING BOOK



BALKAN 13. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
APRIL 25 - 27, 2025
SKOPJE

Published by Academy Global Publishing House



www.balkankongresi.org



**BALKAN
13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES**

**APRIL 25 - 27, 2025
SKOPJE**

**Edited By
PROF. DR. SAMEER JAIN**

Issued: 25.05.2025
ISBN: 978-625-5962-66-9

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :

In the conference 58 papers have been presented by Turkish participants and 86 papers by foreign participants.

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

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

CONFERENCE ID

BALKAN 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
APRIL 25 - 27, 2025
SKOPJE

ORGANIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

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

PARTICIPATING COUNTRIES

Turkey – Iran - South Africa- Malaysia- South Africa – Indonesia- Austria- Jordan - Czech Republic- Greece.- Thailand- Latvia -India- Portugal- Romania- Japan- France- Saudi Arabia- Algeria – Nigeria- Philippines- Russia- Germany- Pakistan- Senegal- USA – Chile- Romania- Mexico-

-

PRESENTATION
Oral presentation

CONGRESS ORGANIZING BOARD**HEAD OF CONFERENCE: Prof. Dr. HÜLYA ÇİÇEK**

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

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – 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. Hasan Akan – Türkiye
Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia
Assoc. Prof. Dr. Sıddık BAKIR - 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. Elif Akpınar Külekçi - 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 Fırıncioğulları - 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. İrade 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
Assist. Prof. K. R. Padma – India
Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan
Assist. Prof. Dr. Maha Hamdan Alanazi - Saudi Arabia
Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria
Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania
Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia
Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia
Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran
Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan
Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Uzbekistan
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. Bhumiika 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 Büyükkaracıgan – Türkiye
Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines
Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam
Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Türkiye
Dr. Mehmet Nuri Ödük – Türkiye
Dr. Ayşe Baran - Türkiye
Dr. Dadash Mehravari – Iran
Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan
Dr. Sonali Malhotra – India
Dr. Amaneh Manafidizaji - Iran



T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Tıp Fakültesi



Sayı :E-98102723-903.07-475454

Konu :Görevlendirme Talebi

REKTÖRLÜK MAKAMINA

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

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

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

Onaylarınıza arz ederim

Prof.Dr. Şevki Hakan EREN
Dekan

OLUR

Prof.Dr. Arif ÖZAYDIN
Rektör

Ek:İlgi Dilekçe (1 Adet)

Dağıtım:

Gereği:

Tıbbi Biyokimya Anabilim Dalı Başkanlığı

Bilgi:

Sayın Prof.Dr. Hülya ÇİÇEK

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

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.



BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES
BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES
ARTAcademy 6TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
April 25 - 27, 2025
SKOPJE

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 moderator olarak seçilir. Moderatörün oturum düzenini gözetmesi, akademisyen adaylarını yönlendirmesi beklenmektedir.
- Oturuma bağlanmadan önce Salon numaranızı adınızın önüne aşağıdaki gibi ekleyiniz. Bu sayede kongre açılışında beklemeden oturumlarınıza gönderilebileceksiniz. Ör. 5 Ahmet Ahmetoglu
- Sunum süresi 10 dakikadır. Bu sürenin aşılmamasını moderatörler temin edecektir.
- Sunum sonrası 5 dakikayı geçmeyen soru-cevap, tartışma süresi verilmektedir.
- Sunumlar TÜRKÇE veya İNGİLİZCE yapılabilmektedir.
- Kameralar, oturum süresince toplam % 70 oranında açık olmak zorundadır.
- Sunum yapan katılımcının kamerası açık olmak zorundadır.
- Sunum yapmak zorunludur. Herhangi bir nedenle sunum yapmamış olan katılımcıya sertifika verilmesi ve çalışmasının yayınlanması söz konusu 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.

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,

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Dr. Öğretim Üyesi Şükran BULUT	1	TECHNOLOGY ASSISTED VOCABULARY LEARNING (TAVL) IN THE INSTRUCTION OF EFL	Dr. TUĞBA İNCİMAN ÇELİK Prof. Dr, Cenk AKAY
		2	PEER FEEDBACK: AN EFFECTIVE APPROACH TO SUPPORT STUDENT LEARNING	Dr. TUĞBA İNCİMAN ÇELİK Prof. Dr, Cenk AKAY
		3	EVOLUTIONARY GAME THEORY AND POST-PANDEMIC ECONOMICS EDUCATION	Dr. Aras Yolusever
		4	EVOLUTIONARY GAME THEORY AND INNOVATION	Dr. Aras Yolusever
		5	ÇOCUKLARIN SANATSAL GELİŞİMİ, SANAT EĞİTİMİNİN BİLİŞSEL VE DUYGUSAL ETKİLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Öğretim Üyesi Şükran BULUT
		6	COURSE SATISFACTION AND SUCCESS LEVELS IN STUDENTS DURING DISTANCE EDUCATION AND FACE TO FACE EDUCATION PERIODS	Oktay Kuru
		7	INVESTIGATION OF POSTGRADUATE THESES ON FOREIGN LANGUAGE SPEAKING ANXIETY BETWEEN 2013-2023	Yüksek Lisans Öğrencisi, Kübra LALE Prof.Dr., ŞENEL ELALDI
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Assoc. Prof. Dr. MUHAMMET İBRAHİM AKYÜREK	1	THE NECESSITY OF TEACHING EDUCATIONAL LAW IN UNIVERSITIES: A PHENOMENOLOGY STUDY	Assoc. Prof. Dr. MUHAMMET İBRAHİM AKYÜREK
		2	THE EFFECT OF TEACHER SELF-EFFICACY BELIEF ON ATTITUDE TOWARDS TEACHING PROFESSION: A SAMPLE OF PEDAGOGICAL FORMATION STUDENTS	Assoc. Prof. Dr. MUHAMMET İBRAHİM AKYÜREK
		3	SÖZ VARLIĞI SORUNSAKINA TÜRKÇE ÖĞRETMENİ ADAYLARININ BAKIŞI: BİR FENOMENOLOJİ ÇALIŞMASI	Öğretmen Adayı İREM AYHAN Doç. Dr. MUHAMMET İBRAHİM AKYÜREK
		4	PRESERVICE ELEMENTARY MATHEMATICS TEACHERS' OPINIONS ON THE EDUCATION PROVIDED AT THE UNIVERSITY AND SECONDARY SCHOOL MATHEMATICS TEACHING: A PHENOMENOLOGICAL STUDY	Assoc. Prof. Dr. MUHAMMET İBRAHİM AKYÜREK Preservice Teacher HALE ŞEVİK
		5	THE EFFECT OF ATTITUDE TOWARDS TEACHING PROFESSION ON ACADEMIC SELF-EFFICACY: A SAMPLE OF PROSPECTIVE ELEMENTARY MATHEMATICS TEACHERS	Assoc. Prof. Dr. MUHAMMET İBRAHİM AKYÜREK Preservice Teacher AYŞEGÜL TÜRKSEVEN
		6	TEACHERS' PERSPECTIVE ON MOBBING: A PHENOMENOLOGY STUDY	Assoc. Prof. Dr. MUHAMMET İBRAHİM AKYÜREK Graduate Student İPEK GÜNDÜZ

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doç. Dr. Kemal YAMAN	1	THE NEED TO REGULATE THE COORDINATION BETWEEN INSTITUTIONS AND ORGANIZATIONS IN ADMINISTRATIVE NORMS	DR. Araştırma Görevlisi, Burcu TURAN
		2	INTERIM MEASURE IN INDIVIDUAL APPLICATION TO THE CONSTITUTIONAL COURT	Dr. Öğr. Üyesi Ufuk Ramazan ÇAKMAK
		3	GENERAL CHARACTERISTICS OF SECURITY MEASURES IN TURKISH CRIMINAL LAW	Doktor Öğretim Görevlisi, Mümin GÜNGÖR Doktor Öğretim Üyesi, Nazmiye ÖZENBAŞ BOYDAĞ
		4	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN YAYGIN SU TÜKETİM TUTUMU: KARABÜK ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ	Doç. Dr. Kemal YAMAN Lisans Öğrencisi, Rana Ece KALAZ
		5	İNGİLTERE'DE YENİ KENT UYGULAMASI : MILTON KEYNES ÖRNEĞİ	Doç. Dr. Kemal YAMAN

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof.Dr.Ali Rıza DİNÇER	1	MANYETİK Fe ₃ O ₄ PARÇACIKLARI İLE BOYA UZAKLAŞTIRILMASI	ŞEVVAL KARAÇUKA Doç. Dr., LEVENT SEMİZ
		2	ADVANCED TREATMENT OF BIOLOGICALLY PURIFIED ORGANIC PEROXIDE PRODUCING CHEMICAL INDUSTRY WASTEWATER USING UV/TiO ₂ OXIDATION PROCESS	M.Sc.Demet DARCAN Prof. Dr.Deniz İzlen ÇİFÇİ Prof.Dr.Ali Rıza DİNÇER
		3	COLOR REMOVAL FROM BIOLOGICALLY TREATED PAPER INDUSTRY WASTEWATER BY ADSORPTION PROCESS	M.Sc.Demet DARCAN Prof. Dr.Deniz İzlen ÇİFÇİ Prof.Dr.Ali Rıza DİNÇER
		4	DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH OKRA LEAF POWDER AND PALM OIL FOR ENHANCED THERMOPHYSICAL PERFORMANCE	PhD Student, Şermin DENİZ Assoc. Prof. Dr. Ercan AYDOĞMUŞ Prof. Dr. Filiz KAR
		5	MİKROALG/ALGİNAT YEŞİL ADSORBAN İLE SULU ÇÖZELTİDEN MANGAN GİDERİMİ	Doç. Dr. Kadriye OKTOR Mühendis Selin Sezen KINA Yüksek Mühendis Güler HASIRCI Prof. Dr. Elif İNCE Prof. Dr. Nilüfer Hilmioglu
		6	FUSARIUM FUNGI PATHOGENS: IDENTIFICATION, IMPACT ON PLANT HEALTH, AND THE ADOPTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGICAL STRATEGIES FOR DISEASE MANAGEMENT AND SUSTAINABLE AGRICULTURE	PhD student: Nedaa M.M. Tanina Dr. Öğr. Üyesi Feyza N. KAFADAR Prof. Canan Can

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Assist. Prof. Hatice DURAN OKUR	1	21. YÜZYIL'DA ENGELLİ ÇOCUKLAR ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME	Berfin AYDIN, Doç. Dr. H. İrem KALAYCI KIRLIOĞLU,
		2	A Sociological Perspective on Single Women's Views on Marriage and Sexuality	Prof. Dr. DOLUNAY ŞENOL HATİCE BAHİRE AKAY
		3	A SOCIOLOGICAL PERSPECTIVE ON MOTHER CANDIDATES' PERCEPTIONS OF MOTHERHOOD	Prof. Dr. DOLUNAY ŞENOL KÜBRA YAVUZ YILDIRAN
		4	SOSYOTELİZM, PARTNER SOSYOTELİZMİ VE İLİŞKİ DOYUMUNUN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ	TOLGAHAN ÜNLÜ
		5	THE ILLUSION OF SUSTAINABILITY IN A CONSUMPTION SOCIETY	Assist. Prof. Hatice DURAN OKUR

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Salima Hassas	1	DEMYSTIFYING THE PROBLEM-SOLVING PROCESS: UNVEILING THE NATURAL MECHANICS OF THE MIND	Dr. Amina Farkhonde
		2	AUTOMATING SCREEN-RECORDED VIDEO PRODUCTION: AN ALGORITHMIC APPROACH TO E-CONTENT CREATION	Dr. Darsareh Nikafrooz
		3	ONTOLOGICAL FOUNDATIONS FOR SMART LEARNING ENVIRONMENTS IN MUSIC EDUCATION: A COMPREHENSIVE FRAMEWORK FOR KNOWLEDGE REPRESENTATION AND APPLICATION	Prof. Dr. Konstantinos Stefanidakis, Dr. Michail Sofianos
		4	TRANSFORMING CIVIL ENGINEERING LABORATORY EDUCATION WITH FLIPPED LEARNING: A COMPREHENSIVE APPROACH TO DEVELOPING ESSENTIAL CAPABILITIES	Hector García- Georgia García-Rodríguez, Gerardo -Shashi Kant
		5	AUTONOMOUS AGENT LEARNING THROUGH CONSTRUCTIVIST PRINCIPLES: A BOTTOM-UP SEQUENTIAL LEARNING APPROACH AND TOOL	Piña Barrios-, Salvador Arellano, Bocanegra García,
		6	EMPOWERING ASSEMBLY LINES WITH DEEP LEARNING: A PARADIGM SHIFT IN PRODUCT IDENTIFICATION	Assoc. Prof. Dr. Salima Hassas
		7	ASSESSING THE ECONOMIC RETURNS OF HUMANITIES AND EDUCATION PROGRAMS IN PUBLIC UNIVERSITIES OF OSUN STATE, NIGERIA	Adelokun Gambo
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assist. Prof. Dr. Sarah Thompson	1	REVOLUTIONIZING SMART MANUFACTURING THROUGH NEURAL NETWORKS: A DATA-DRIVEN APPROACH TO PROCESS AUTOMATION	Rajesh Nair
		2	ASSESSING THE ECONOMIC RETURNS OF SOCIAL SCIENCES DEGREES IN LAGOS STATE TERTIARY INSTITUTIONS: A STUDY BY FIELD	Tunde Adebayo, Ngozi Umeh
		3	EXPLORING DIGITAL PEDAGOGY: STUDENTS' INTERACTIONS WITH MULTIMODAL EDUCATIONAL PLATFORMS	Assist. Prof. Dr. Sarah Thompson
		4	HIDDEN VOICES: A STATISTICAL INVESTIGATION INTO DEPRESSION LEVELS IN ADHD STUDENTS IN UNIVERSITIES	Lukas Meier, Eva Schneider
		5	CHARTING EDUCATIONAL POLICY PATHWAYS: INSIGHTS INTO CURRICULUM REFORMS IN ARGENTINE HIGHER EDUCATION	Camila Rodríguez, Assis. Prof. Dr. Mateo Herrera
		6	BUILDING PROFESSIONAL COMMUNITIES: LOWER SECONDARY TEACHERS' JOURNEYS INTO COLLABORATIVE PRACTICE	Eleni Papadopolou, Stavros Dimitriadis, Nikos Alexandris, Maria Tzortzi
		7	EXPLORING AI-ASSISTED STUDENT SUPPORT: THE ROLE OF CONVERSATIONAL AGENTS IN UNIVERSITY LEARNING ENVIRONMENTS	Andreas Christodoulou, Dr. Eleni Georgiadou

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assoc. Prof. Samuel M. Obong	1	LEGAL LIMITS OF DIGITAL SURVEILLANCE IN DEMOCRATIC SOCIETIES	Dr. Markus Schneider
		2	INSTITUTIONAL CHALLENGES IN POST-CONFLICT JUSTICE SYSTEMS	Mirela Jovanović
		3	THE INTERSECTION OF RELIGIOUS LAW AND CONSTITUTIONAL PRINCIPLES	Assis. Prof. Dr. Fatemeh Alavi
		4	EDUCATIONAL INEQUALITY AND POLICY RESPONSES IN SUB-SAHARAN AFRICA	Assoc. Prof. Samuel M. Obong
		5	THE ROLE OF YOUTH IN POLITICAL TRANSITIONS: A CASE STUDY OF CIVIL UPRISINGS	Assoc. Prof. Rania El-Sayed Dr. Tarek Mahmoud
		6	LEGAL FRAMEWORK FOR CLIMATE MIGRATION IN SMALL ISLAND STATES	Ana Luisa Te'o
		7	EFFECTS OF JUDICIAL CENTRALIZATION ON LOCAL AUTONOMY: A COMPARATIVE STUDY	Assis. Prof. Dr. Nguyen Minh Trang
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assoc. Prof. Dr. Vannaphone Souvannaseng	1	THE AESTHETICS OF LANTERN CRAFTS IN NORTHERN FESTIVALS: A DESIGN APPROACH	Dr. Kittinan Wongphet
		2	TRADITIONAL MASKS AND THEIR CULTURAL SIGNIFICANCE IN SOUTHEAST ASIAN FESTIVALS	Pimchanok Surapinit
		3	COMPARATIVE ANALYSIS OF PUBLIC HOUSING POLICIES IN EASTERN EUROPE	Assoc. Prof. Dr. Andrei Popescu Jelena Milinković
		4	BAMBOO AS A SUSTAINABLE MATERIAL FOR FURNITURE DESIGN	Warit Srisook
		5	A STUDY ON THE COMBUSTION CHARACTERISTICS OF MANGROVE-DERIVED BIOCHAR	Teerasak Lertpreecha
		6	CONTEMPORARY INTERPRETATIONS OF TRADITIONAL LAO TEXTILE PATTERNS IN GRAPHIC DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Vannaphone Souvannaseng
		7	DEVELOPING MULTILINGUAL SIGNAGE FOR COMMUNITY-BASED TOURISM IN LUANG PRABANG	Lect. Sitha Boupavanh
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assoc. Prof. Dr. Katarína Nováková	1	THE IMPACT OF MACROECONOMIC STABILITY ON FOREIGN DIRECT INVESTMENT INFLOW	Dr. Khalid Al-Salim
		2	EVALUATING WOMEN'S EMPOWERMENT THROUGH AGRICULTURAL COOPERATIVES IN RURAL BANGLADESH	Shamima Aktar
		3	THE DYNAMICS OF NON-STATE ACTORS IN POST-CONFLICT STATE-BUILDING: THE CASE OF LIBYA	Assist. Prof. Dr. Salma El-Gharyani
		4	STRATEGIC LEADERSHIP APPROACHES IN RESOLVING INTERPERSONAL CONFLICTS IN PUBLIC SECTOR ORGANIZATIONS	Yasmin El-Naggar, Dr. Huda Mostafa
		5	A CRITICAL REVIEW OF CORPORATE ACCOUNTING PRACTICES IN DETECTING FINANCIAL MALPRACTICES	Chinedu Okeke
		6	DETERMINANTS OF CUSTOMER SATISFACTION IN DIGITAL BANKING SERVICES IN NEPAL	Dr. Anusha Shrestha
		7	PERFORMANCE EVALUATION OF MILITARY PERSONNEL IN THE SLOVAK REPUBLIC BASED ON MODERN HR FRAMEWORKS	Assoc. Prof. Dr. Katarína Nováková
		8	CHALLENGES IN BUILDING A NATIONAL BRAND IN POST-SOVIET ECONOMIES	Lali Beridze
		9	MULTIDIMENSIONAL CUSTOMER PROFILING FOR INNOVATIVE SMARTPHONE DESIGN STRATEGIES	Dr. Omar Al-Mansoori, Leen Hasan

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. Sezen BOZYİĞİT	1	UZUN DÖNEMLİ EĞİLİMİN TAKINTILI TÜKETİM ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN MEDENİ DURUM BAĞLAMINDA İNCELENMESİ	Prof. Dr. Sezen BOZYİĞİT
		2	TÜKETİCİLERİN TUTUMLULUK VE HİPEROPİ EĞİLİMİNİN HEDONİK TÜKETİM ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Prof. Dr. Sezen BOZYİĞİT
		3	NATURAL AND ORGANIC COSMETIC PRODUCTS: CONSUMER TRENDS AND REGULATORY FRAMEWORK	Öğr. Gör. Dr. DURSUN YILMAZ Öğr. Gör. TUĞÇE YILDIRIM DAL
		4	THE HISTORICAL TRANSFORMATION OF WOMEN'S BEAUTY PERCEPTION: THE CONCEPT OF AESTHETICS FROM TRADITION TO MODERNITY	Öğr. Gör. TUĞÇE YILDIRIM DAL Öğr. Gör. Dr. DURSUN YILMAZ
		5	ZİHNİN GİZLİ KODLARI: NÖROPAZARLAMA İLE TÜKETİCİYİ ETKİLEMEİNİN SIRLARI	Dr. Öğrt. Görv. Pınar COŞKUN
		6	GREEN HRM AND GREEN LEADERSHIP PRACTICES: PATAGONIA AND UNILEVER EXAMPLES	Büşra SARIAYDIN Assoc. Prof. Dr. Arzu UĞURLU KARA
		7	İNSAN KAYNAKLARI YÖNETİMİNDE İŞE ALIM SÜRECİNDE YAPAY ZEKANIN KULLANIMI ÜZERİNE VOSVIEWER İLE BİR BİBLİYOMETRİK ANALİZ	Yunus Emre KESTANE Doç.Dr.Arzu UĞURLU KARA
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Doç. Dr. Yasemin Darancık	1	Yabancı Dil Eğitimi Öğrencilerinin Konuşma Becerisine Yönelik Öz Algıları	Doç. Dr. Yasemin Darancık
		2	DİJİTAL TOPLULUK TEMELLİ DİL ÖĞRENME MODELİ (CLL 2.0): COMMUNITY LANGUAGE LEARNING YAKLAŞIMINA ÇAĞDAŞ BİR UYGULAMA ÖNERİSİ	Doç. Dr. Yasemin Darancık
		3	PRESERVICE PRESCHOOL TEACHERS' VIEWS ON CREATIVITY	Res. Asst. Dr., Şebnem Çetken Aktaş
		4	Modern Olimpiyatların Siyasal ve Sosyal Boyutları: Bir Derleme Çalışması	Doktora Öğrencisi EMRAH YILMAZ Doç. Dr. ZÜLBİYE KAÇAY
		5	ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNİN SPOR FARKINDALIKLARININ BELİRLENMESİ	Sinem TOÇOĞLU Engin VURAL Ahmet DÖNMEZ Tuncay KIRATLI
		6	SPOR BİLİMLERİ ÖĞRENCİLERİNİN DİJİTAL OKURYAZARLIK DÜZEYLERİNİN BELİRLENMESİ	Sinem TOÇOĞLU Engin VURAL Halil İbrahim GENÇ Tuncay KIRATLI

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Doç. Dr. Hüsnü ERGÜN	1	İTERAKTİF ÖĞRENME ORTAMLARININ YABANCI DİL OLARAK İNGİLİZCE KONUSMA BECERİSİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ	Doktora Öğrencisi Murat SALMAN Prof. Dr. Cenk AKAY
		2	YABANCI DİL OLARAK İNGİLİZCE ÖĞRETİMİNDE OYUNLAŞTIRMANIN ROLÜ	Doktora Öğrencisi Murat SALMAN Prof. Dr. Cenk AKAY
		3	TÜRKİYE'DE ÖĞRETMEN DENETİM SÜREÇLERİNİN İNCELENMESİ: BİR DOKÜMAN ANALİZİ	Doç. Dr. Hüsnü ERGÜN
		4	TÜRKİYE'DE EĞİTİM DENETİMİNİN DÖNÜŞÜMÜ: OKUL YÖNETİCİLERİ VE REHBER ÖĞRETMENLER İÇİN 2025 DEĞERLENDİRME KILAVUZU ANALİZİ	Doç. Dr. Hüsnü ERGÜN
		5	TÜRK DÜNYASINDA EĞİTİMDE YENİLİK ARAYIŞLARI: YUSUF AKÇURA VE İSMAİL GASPIRALI ÖRNEĞİ	SÜMERYA GÜNTÜRK
		6	EĞİTİM YÖNETİCİLERİNİN GÖREVDEN AYRILMA NEDENLERİ	MUSTAFA ÖZKAN Doç. Dr. TİJEN TULUBAŞ

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof.Dr.Bayram Akça	1	MUSTAFA KEMAL ATATURK’S SPEECH ON TURKISH-BALKAN RELATIONS DURING THE RECEPTION OF THE AMBASSADORS OF THE BALKAN COUNTRIES	Prof.Dr.Bayram Akça
		2	MUSTAFA KEMAL ATATURK’S SPEECH ON TURKISH-BALKAN RELATIONS IN THE OPENING SPEECHES OF THE TURKISH PARLIAMENT	Prof.Dr.Bayram Akça
		3	EKONOMİ, TARİH, KÜLTÜR VE TURİZM EKSENİNDE BİT PAZARLARI: ÜSKÜP BİT PAZARI ÖRNEĞİ	Prof. Dr. Hulusi DOĞAN Öğr. Gör. Meliha Yaren BERKTAŞ
		4	PURPOSEFUL TRAINING PLANNING: DIRECTIONS, CHALLENGES	Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade
		5	US MIDDLE EAST POLICY: OIL- SECURITY- SPHERE OF INFLUENCE	Yüksek Lisans Öğrencisi, İLAYDA GÜLÜMSER
		6	THE BLACK SEA CRISIS: OBSTACLES ON THE EUROPEAN UNION’S WAY TO BECOME A GLOBAL POWER	Yüksek Lisans Öğrencisi, İLAYDA GÜLÜMSER
		7	THE NEW DESTINATION FOR HEALTHY AND INNOVATIVE NUTRITION: GLUTEN-FREE LIVING	Dr. Öğr. Üyesi, ÇİĞDEM KIZILGEÇİ Araştırmacı, ZEYNAL TAŞTAN
		8	Uzayın Militarizasyonu: Sovyet Perspektifi ve Güvenlik Yaklaşımı	Mahmut Can ÖZDEMİR

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Dr. Öğr. Üyesi ZEYNEP HÜMEYRA KOÇ	1	A RESEARCH ON THE ANALYSIS OF THE PRINCIPLES OF SEPARATION OF POWERS IN THE CONTEXT OF POLITICAL PHILOSOPHY	Kemal GÜL Prof. Dr. Arslan TOPAKKAYA
		2	A RESEARCH ON THE ANALYSIS OF THE PRINCIPLES OF SEPARATION OF POWERS IN THE TURKISH STATE SYSTEM ON A CONSTITUTIONAL PLANE	Kemal GÜL Prof. Dr. Arslan TOPAKKAYA
		3	OLGUSAL BİR GERÇEKLİK OLARAK TAKLİT: EPİSTEMOLOJİK VE TEOLJİK DEĞERİ	Dr. Öğr. Üyesi ZEYNEP HÜMEYRA KOÇ
		4	THE EPİSTEMOLOGICAL VALUE OF THE AESTHETIC ARGUMENT	Oğuzhan Yalçın Assoc. Prof. Dr. Özcan Akdağ
		5	CULTURAL SUSTAINABILITY AND SPATIAL IDENTITY IN CONTEMPORARY INTERIOR DESIGN WITH LESSONS FROM IRANIAN ISLAMIC ARCHITECTURE	Assoc. Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ
		6	TRADITIONAL NATIVE AMERICAN BUILDING STYLES AND THEIR MODERN REINTERPRETATION	Assoc. Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ
		7	HARFLERİN HAFIZASI OLARAK KÜLTÜREL TİPOGRAFI; TOPLUMSAL BELLEK VE KİMLİK	Doç. Dr. Barış AYDIN Master Öğrencisi, Zeynep KILIÇ
		8	POST-ANTROPOSANTRİZM: TASARIMDA SANATÇININ YOKLUĞUNUN VARLIĞI	Doç. Dr. Barış AYDIN Master Öğrencisi, Necla KILIÇ
		9	AN ANALYSIS ON ORIENTALIST PERSPECTIVE AND THE OTHER IN DIGITAL GAMES	Öğr. Gör., SİBEL ÖZDEN OMUZLU Doç. Dr., MUSTAFA C. SADAKAOĞLU

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Assoc. Prof. Dr. Kittiphon Tawan	1	STRATEGIC MIGRATION TO HYBRID CLOUD INFRASTRUCTURES	Lina Ahmed Al-Fulan Mohammed R. Al-Khatib
		2	THE ROLE OF HISTORICAL FIGURES IN SHAPING MODERN DIPLOMACY	Elmira D. Sadykova
		3	POST-IMPACT RESIDUE ANALYSIS IN FORENSIC BALLISTICS	Surasak Jantapoom Kulnarin
		4	HYBRID PEDAGOGY MODELS FOR VIRTUAL CLASSROOMS	Assoc. Prof. Dr. Kittiphon Tawan
		5	COMMUNITY PARTICIPATION IN HERITAGE POLICY FORMULATION	Dr. Kanokwan Theerathongchai
		6	EMPOWERING YOUNG ARTISTS THROUGH LOCAL SCRIPT INTEGRATION	Rachid Ben Amar Andrew J. Collins
		7	VISUAL STORYTELLING FOR CHILDREN INSPIRED BY FOLK NATURE TALES	Dr. Anucha Sangsiri

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Maha Al-Farouqi	1	SOCIAL MEDIA IMPACT ON TRAVEL DECISIONS AMONG EASTERN EUROPEAN BACKPACKERS	Dr. Irina Vlasenko, Anatoly Rudenko
		2	INCLUSIVE WORKPLACE POLICIES IN FINANCIAL INSTITUTIONS: A GULF REGION OVERVIEW	Assoc. Prof. Dr. Maha Al-Farouqi
		3	DIGITAL NOTE-TAKING HABITS AMONG SECONDARY SCHOOL STUDENTS	Rachel Whitmore
		4	PARENTAL ROLES IN LANGUAGE DEVELOPMENT OF CHILDREN WITH SPECIAL NEEDS	Yun-Hwa Lin
		5	FACTORS SHAPING YOUTH CIVIC PARTICIPATION IN SOUTH ASIAN UNIVERSITIES	Lecturer Ranjit Subramanian
		6	THAI ENGLISH VARIATIONS IN ONLINE HOTEL REVIEWS	Siriporn Kongsuk
		7	CONSUMER BEHAVIOR OF UNIVERSITY STUDENTS IN LINE WITH BUDDHIST ECONOMIC VALUES	PhD candidate Anusorn Pradit
		8	INVESTIGATING COGNITIVE READING STRATEGIES AMONG ALGERIAN ESL GRADUATE STUDENTS	Huda Benamar, Faisal Rahimi
		9	CULTURAL SYMBOLISM IN HANDMADE SOUVENIR DEVELOPMENT FOR TOURISM	Assoc. Prof. Dr. Samira Khalil

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Prof. Dr. Giorgi Beridze	1	EVALUATING ORGANIZATIONAL AGILITY AS A DRIVER OF DIGITAL TRANSFORMATION INITIATIVES	Dr. Danijela Markovic, Tomas Ivankovic
		2	A HYBRID GENETIC-BASED APPROACH FOR OPTIMIZING NONLINEAR ECONOMETRIC MODELS	Ms. Student Lina Bensalem Dr. Yassine Tazi, Dr. Hicham Ferhat
		3	THE INTERPLAY BETWEEN GLOBAL ENERGY DEMAND AND ALTERNATIVE ENERGY INVESTMENTS	Fahad Al-Mutairi
		4	IMPLEMENTING LEAN PRINCIPLES IN PUBLIC HEALTH SYSTEMS: A CASE STUDY FROM LATIN AMERICA	Assis. Prof. Dr. Camila Torres, Luis Fernando Rios
		5	CHALLENGES IN THE ADOPTION OF INDUSTRY 4.0 PRACTICES AMONG SOUTH ASIAN MANUFACTURERS	Dr. Rakesh Nair
		6	STRENGTHENING COMMUNITY-BASED ECONOMIES THROUGH SUSTAINABLE LOCAL ENTERPRISES	Santoso, Dewi Lestari
		7	ANALYSIS OF STRATEGIC FAILURES IN INFRASTRUCTURE FIRMS DURING ECONOMIC DOWNTURNS	Prof. Dr. Giorgi Beridze
		8	INFLUENCE OF PERSONALITY TRAITS ON DIGITAL PURCHASE DECISIONS IN MILLENNIAL CONSUMERS	Javier Martinez Ortega

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Assoc. Prof. Dr. Richa Bansal	1	COMPETENCY DEVELOPMENT IN SUPPLY MANAGEMENT: A CENTRAL EUROPEAN APPROACH	Dr. Lukas Schneider
		2	FRAMEWORK FOR IMPROVING INTERNAL AUDIT EFFECTIVENESS IN TRANSITIONAL ECONOMIES	Dr. Maryam Farzaneh, PhD Candidate Laleh Samimi, Mehdi Davani
		3	IMPACT OF PATENT POLICY ON INNOVATION PERFORMANCE IN INDIAN MANUFACTURING FIRMS	Assoc. Prof. Dr. Richa Bansal, Sandeep Sharma
		4	THE ROLE OF WORKPLACE TRUST, CULTURAL DIVERSITY, AND SELF-EFFICACY IN DIGITAL COMMUNICATION EFFECTIVENESS	Dr. Khalid Al-Mutairi
		5	FACTORS INFLUENCING VALUE RELEVANCE OF ACCOUNTING EARNINGS IN DEVELOPING CAPITAL MARKETS	Niloofar Tavakoli, Sara Rezaee
		6	INFORMATION SYSTEM FAILURES IN PUBLIC SECTOR ENTERPRISES: A GULF REGION PERSPECTIVE	Noora Al-Mansoori
		7	SUSTAINABLE SUPPLY NETWORK OPTIMIZATION UNDER UNCERTAINTY AND REGULATORY CONSTRAINTS	Fatema Al-Dabbous, Dr. Ahmad Al-Harbi, Tariq Al-Sabah
		8	ETHICAL LEADERSHIP AND GOVERNANCE CHALLENGES IN DIRECT SELLING ENTERPRISES	Rajesh Natarajan
		9	CORPORATE DISCLOSURE QUALITY AND INVESTOR DECISION-MAKING: EVIDENCE FROM A MIDDLE EASTERN CONTEXT	Samira Ebrahimi, Dr. Amir Daryanavard

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 25 Nisan / April 25, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assoc. Prof. Dr. Mariam Hovhannisyan	1	FEMINIST PERSPECTIVES ON WOMEN'S ACCESS TO DIGITAL HEALTHCARE IN DHAKA	Dr. Nusrat Jahan
		2	EVALUATING THE ROLE OF TRADITIONAL AUTHORITIES IN LOCAL CONFLICT RESOLUTION	Olufemi Babajide Adeyemi
		3	SOCIO-SPATIAL TRANSFORMATION AND THE RISE OF INFORMAL COMMUNITIES IN TEHRAN	Farideh Shafiei
		4	TECHNICAL TRANSLATION PRACTICES IN MULTILINGUAL AFRICAN CONTEXTS	Dr. Samuel K. Nyongesa
		5	TRADITIONAL MOTIFS AND CONTEMPORARY AESTHETICS IN EMIRATI TEXTILE DESIGN	Layla Saeed Al-Hosani
		6	COORDINATING MULTINATIONAL ENGINEERING PROJECTS: STRATEGIES FOR SYSTEM INTEGRATION	Youssef Belkacem Jean-Louis Dubois
		7	ANALYZING THE EUROPEAN UNION'S STANCE ON GLOBAL MIGRATION GOVERNANCE	Lecturer Camille Fournier
		8	PATTERNS OF YOUTH MIGRATION FROM RURAL ARMENIA TO URBAN CENTERS	Assoc. Prof. Dr. Mariam Hovhannisyan
		9	THE DEVELOPMENT AND CITIZEN PERCEPTION OF E-GOVERNANCE PLATFORMS IN THE CZECH REPUBLIC	Jakub Novák

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE YÜZYÜZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:00 – 12:00 Time zone in SKOPJE				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof.Dr. GÜLAY ÖZTÜRK	1	EVALUATION OF ACTIVE AGING STRATEGIES IN THE CONTEXT OF GLOBAL INDICATORS: THE CASE OF SOUTHERN EUROPE WELFARE STATES AND TURKIYE	Emine NAMLI Senanur KÜNKÜL Dr. Öğr. Üyesi Siyret AYAS ŞARMAN
		2	GENDER EQUALITY IN SOUTHERN EUROPEAN WELFARE STATES AND TURKIYE: A CURRENT ASSESSMENT	Senanur KÜNKÜL Emine NAMLI Dr. Öğr. Üyesi Siyret AYAS ŞARMAN
		3	AN ANALYSIS OF A THE GAZA-THEMED NEWS ARTICLE IN THE CONTEXT OF EMBEDDED MULTIMEDIA JOURNALISM	Assoc. Prof. Dr. BİRSEN ÇETİN
		4	THE SIGNIFICANCE OF STORYTELLING THROUGH DATA VISUALIZATION IN CONTEMPORARY MARKETING COMMUNICATION STUDIES	Prof.Dr. GÜLAY ÖZTÜRK

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE YÜZYÜZE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 12:00 – 15:00 Time zone in SKOPJE				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Prof. Dr. Yunus KAYIR	1	COMPARISON OF EVOLUTIONS OF INTERNAL EROSION IN HOMOGENEOUS EARTH-FILL DAMS BUILT WITH MEDIUM SAND-CLAY MIXTURE WHEN THE SEEPAGE IS AT BOTTOM OR AT MIDDLE PART OF THE DAM	Prof. Dr. Mehmet Şükrü GÜNEY Res Assit. Emre DURLU Res Assist. Merve OKAN Yiğit KALYONCU
		2	SYNTHESIS OF BUTLY-SUBSTITUTED 4-THIAZOLIDINONE COMPOUNDS VIA ONE-POT MULTICOMPONENT REACTION	Dr. Fatma Tülay TUĞCU
		3	THE ROLE OF BIG DATA IN DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR INTERIOR DESIGN	Assoc. Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ
		4	WASTE MANAGEMENT AND CIRCULAR ECONOMY PRACTICES IN INTERIOR SPACES	Assoc. Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ
		5	EFFECT OF THE CUTTING PARAMETERS ON DRILLING OF GGG40 MATERIAL ON A LATHE	Prof. Dr. Yunus KAYIR Öğr. Grv. Muharrem USTA
		6	COVERINGS OF IRRESOLUTE TOPOLOGICAL GROUPS	Öğr. Gör. Kadriye BAŞAR Doç. Dr. Hürmet FULYA AKIZ
		7	COVERINGS AND ACTIONS OF IRRESOLUTE TOPOLOGICAL GROUPOIDS	Doç. Dr. Hürmet FULYA AKIZ Öğr. Gör. Kadriye BAŞAR
		8	THE ROLE OF BACTERIAL AGENTS IN THE ETIOLOGY OF PROSTATIC INFECTIONS	Prof. Dr. FATMA HUSNIYE DILEK Doç. Dr. İHSAN HAKKI CİFTCI Prof. Dr. OZTUG ADSAN Uzm. Dr. ENGİN KARAKECE Prof. Dr. HASAN SALİH SAGLAM Prof. Dr. OSMAN KOSE Dr. ZEYNEP KAHYAOGU Dr. ELMAŞ PINAR KAHRAMAN KILBAS

		9	NATIONWIDE STUDY ON THE SHIFT FROM CLSI TO EUCAST IN THE ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS OF ESCHERICHIA COLI ISOLATED FROM WOMEN WITH URINARY TRACT INFECTIONS	DOÇ. DR. İHSAN HAKKI ÇİFTÇİ DR. ELMAS PINAR KAHRAMAN KILBAŞ PROF. DR. AHMET ALİM DOÇ. DR. ALİ KORHAN SİĞ DR. ÖĞR. ÜYESİ AYŞE ÖZKAÇMAZ DOÇ. DR. AYTEN GÜNDÜZ DOÇ. DR. BARIŞ GÜLHAN PROF. DR. BİLGE SÜMBÜL PROF. DR. CÜNEYT ÖZAKIN PROF. DR. DEVRİM DÜNDAR DR. ÖĞR. ÜYESİ EMEK TÜRKEKUL ŞEN UZM. DR. ENGİN KARAKEÇE DOÇ. DR. ESRA ÖZKAYA PROF. DR. FADİLE YILDIZ ZEYREK DOÇ. DR. FİLİZ ORAK PROF. DR. FÜSUN CÖMERT PROF. DR. GÜL DURMAZ DOÇ. DR. GÜLGÜN YENİŞEHİRLİ PROF. DR. HAKAN TEMİZ PROF. DR. HATİCE TÜRK DAĞI DR. İMDAT KILBAŞ PROF. DR. METİN DOĞAN PROF. DR. MUHAMMET GÜZEL KURTOĞLU PROF. DR. MUHAMMED HAMİDULLAH UYANIK PROF. DR. MÜCAHİDE ESRA KOÇOĞLU PROF. DR. NURİ KİRAZ UZM. DR. ÖZLEM KOCA UZM. DR. ÖZLEM YOLDAŞ DOÇ. DR. PINAR SAĞIROĞLU PROF. DR. SABAHAT AKSARAY DOÇ. DR. SADIK AKGÜN PROF. DR. SELÇUK KAYA PROF. DR. SEMRA KURUTEPE PROF. DR. YELİZ ÇETİNKOL PROF. DR. YELİZ TANRIVERDİ
--	--	---	---	---

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Asst. Prof., Merve DEMİRBÜĞEN ÖZ	1	WHAT AFFECTS THE LEVEL OF SEXUAL HEALTH LITERACY IN WOMEN? A LITERATURE REVIEW EXAMPLE	Yüksek Lisans Öğrencisi Aleyna GÜNER Doç. Dr. Ruveyde AYDIN
		2	AWARENESS OF GYNECOLOGIC CANCERS IN WOMEN: A STUDY ON ENDOMETRIAL CANCER	Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra İŞBİLİR Doç.Dr. Ruveyde AYDIN Yüksek Lisans Öğrencisi Aleyna GÜNER
		3	ACILIN NABZI: HER BRANŞIN KESİŞTİĞİ NOKTADA HEKİM OLMAK	Dr. Öğr. Üyesi Ramazan KİYAK
		4	THE RELATIONSHIP BETWEEN CHEST PAIN AND ANXIETY: A CURRENT EVALUATION	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan TAŞKIN
		5	ADLI VAKANIN İLK DURAĞI: ACİL SERVİSTE ADLİ TIP	Dr. Öğr. Üyesi Samet KİYAK
		6	PROTOCOLS FOR NURSING CARE AND CLINICAL PRACTICE IN INTENSIVE CARE UNITS	Mesut DİREK Prof.Dr. Mukadder MOLLAOĞLU
		7	THE INFORMATION NEEDS OF CAREGIVERS PROVIDING HOME CARE FOR PATIENTS WITH STROKE	Mesut DİREK Prof.Dr. Mukadder MOLLAOĞLU
		8	NANOTOXICITY OF LIPID NANOPARTICLES IN DRUG DELIVERY	Asst. Prof., Merve DEMİRBÜĞEN ÖZ
		9	ENVIRONMENTAL PHARMACEUTICALS: A NEW TOXICOLOGICAL EMERGENCY	Asst. Prof., Merve DEMİRBÜĞEN ÖZ

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BUĞDAY	1	Analysis of Fuel Consumption and Charging Efficiency in Electric Vehicles	Feyyaz Alpsalaz Emrah Aslan Yıldırım Özüpak
		2	Analysis of Fuel Consumption in Electric Vehicles: A Study on Segments, Usage Scenarios, and Energy Efficiency	Feyyaz Alpsalaz Emrah Aslan Yıldırım Özüpak
		3	FIRE RISKS IN ELECTRIC VEHICLES AND TÜRKİYE EVALUATION	İpek CAN Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
		4	YÜKSEK BASINÇLI DÖKÜM MAKİNELERİNDE MODÜLER PİSTON KULLANILMASI İLE ÜRETİM VERİMLİLİĞİN ARTTIRILMASI	Robot ve Otomasyon Mühendisi, Umut COŞGUN Doç. Dr., Ahmet FEYZİOĞLU Dr. Trevor Uyi OMORUYİ
		5	KOMPAKT VE GÜVENLİ PNÖMATİK KESME MAKİNESİ	CANSU KELKİT ABDALLA SOLIMAN KADER DÖĞEN DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA BUĞDAY
		6	ARDUINO KONTROLLÜ PNÖMATİK AYIRMA MEKANİZMASINA SAHİP KONVEYÖR BANT SİSTEMİ TASARIMI VE UYGULAMASI	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BUĞDAY Öğrenci, Serden Şahin Öğrenci, Merve Çelikkanat Öğrenci, Muhammed Ozan Çelik

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ	1	OPTIMAL TASK ALLOCATION ALGORITHM AND AGENT COMMUNICATION LANGUAGE DEVELOPMENT FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE SWARMS	SONER KÖSTERİT Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ
		2	GAME THEORY-BASED DECISION-MAKING ALGORITHM AND REWARD DESIGN FOR PREVENTING AUTOMATIC GROUND COLLISIONS	RIZA KUŞLU Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ
		3	DEVELOPMENT OF Q-LEARNING BASED DECISION MAKING ALGORITHM FOR UAVS	MUHAMMET ENES TAŞOĞLU Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ
		4	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED THREAT DETECTION AND AVOIDANCE SYSTEMS IN AUTONOMOUS UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAVS)	BARAN AKAY Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ
		5	DESIGN AND CONTROL OF AN AUTONOMOUS DRONE FOR PACKAGE DELIVERY USING Q-LEARNING	SERBÜLENT TANRIVERDİ Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ
		6	DEVELOPMENT OF SAFE AND STABLE ALGORITHMS TO SUPPRESS SYSTEM ABNORMALITIES IN SWARM-BASED UNMANNED AERIAL VEHICLES	BERKAY KAHYAOĞLU Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ
		7	DEVELOPMENT OF A DECISION-MAKING ALGORITHM FOR AIR COMBAT USING GAME THEORY AND DYNAMIC PROGRAMMING	SÜMEYYE CİNASLI Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DENİZ

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Res. Asst. Bengü FETİLER	1	CONVOLUTIONAL VISION TRANSFORMER-BASED AUTOMATED MEDICAL REPORT GENERATION	Res. Asst. Bengü FETİLER Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		2	EFFICIENT VISUAL INTERPRETATION WITH K-MEANS BASED COLOR CLUSTERING FOR VIDEO CAPTIONING	Emir ÇİL Res. Asst. Bengü FETİLER Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		3	A BENCHMARK STUDY OF TRANSFORMER LAYERS IN K- MEANS COLOR CLUSTERED IMAGE CAPTIONING	Atalay ŞAHAN Res. Asst. Bengü FETİLER Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		4	AUTOMATED CHEST X-RAY PROJECTION CLASSIFICATION	Mustafa Melik AYANOĞLU Res. Asst. Bengü FETİLER Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		5	TRANSFORMER-BASED SEQUENCE-TO-SEQUENCE MEDICAL REPORT GENERATION	Mustafa Melik AYANOĞLU Res. Asst. Bengü FETİLER Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		6	AUTOMATED CHEST X-RAY GENDER CLASSIFICATION	Mustafa Melik AYANOĞLU Res. Asst. Bengü FETİLER Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Assoc. Prof. Volkan KILIÇ

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:00 – 13:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI	1	DEBATES ON JUSTICE IN VICTOR HUGO'S "THE TAPNER CASE": NATURAL LAW and POSITIVE LAW	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		2	FICTION AND REALITY IN JULES VERNE'S THE ADVENTURES OF KERABAN THE INFLEXIBLE: AN EVALUATION OF 19th CENTURY BLACK SEA TRADE	Mustafa Can GÜRİPEK
		3	"DUHA KOCA" IN THE BOOK OF DEDE KORKUT ANALYSIS OF "DUHA KOCA OGLU DELİ DUMRUL" IN TERMS OF MYTHOLOGICAL MOTIFS	Dr. Öğr. Üyesi, Merve Nur SEZGİN Yüksek Lisans Öğrencisi, Merve ATÇI
		4	AN EXAMINATION OF THE STORY 'BASAT SLAYING TEPEGÖZ' IN THE BOOK OF DEDE KORKUT' IN TERMS OF MYTHOLOGICAL MOTIFS	Dr. Öğr. Üyesi Merve Nur SEZGİN Yüksek Lisans Öğrencisi, Tuğba TATLI
		5	THE INFLUENCE OF YUNUS EMRE ON A GHAZAL NOT FOUND IN THE DIVAN OF MUSTAFA ALI OF GELIBOLU	Dr. AYSEGUL EKICI
		6	JUSTICE DOCUMENTS OF THE WEST AND THE EAST: THE EFFECTS OF THE MAGNA CARTA AND THE TANZIMAT EDICT, TWO SPARKS OF FREEDOM, ON DEMOCRATIZATION AND HUMAN RIGHTS	Başöğretmen, Gülten AKGÜL
		7	THE DARK SIDE OF THE VICTORIAN LONDON: THE ANATOMY OF CRIME IN ENGLISH NOVELS	Başöğretmen, Gülten AKGÜL
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Dr. Sofiane Bouzidi	1	ANALYSIS OF FACTORS INFLUENCING DRIVER BEHAVIOR AND MEDIA PREFERENCES IN TRANSPORTATION	Dr. Ahmed Al-Farsi
		2	A COMPREHENSIVE STUDY ON THE IMPACT OF POLITICAL EXILE IN SOUTH ASIA	Ravi Kumar, Ananya Singh
		3	THE POSITION OF THE SUPREME COURT ON RESTRICTING CIVIL RIGHTS IN THE FACE OF NATIONAL SECURITY	Prof. Dr. Elena K. Ivanova
		4	PROTECTION AND RECOGNITION OF INDIGENOUS RIGHTS IN THE PHILIPPINES	Liza Dela Cruz, Renaldo Soriano
		5	THE NEED FOR SPACE LEGISLATION AMONG EMERGING SPACE NATIONS	Faisal Ahmed Mei Ling
		6	HUMAN RIGHTS AND THE ROLE OF CONSTITUTIONAL LAW IN MILITARY CONFLICTS	Dr. Sofiane Bouzidi
		7	ADVANCEMENTS IN FORENSIC SCIENCE: ANALYZING HAIR SAMPLES AFTER LONG-TERM EXPOSURE	Mariama Diop
		8	CHALLENGES IN DIGITAL EVIDENCE COLLECTION AND ITS ACCEPTANCE IN LEGAL SYSTEMS	Dr. Farida Ahmed
		9	THE ROLE OF THE EUROPEAN UNION IN INTERNATIONAL POLICY DEVELOPMENT	Stefan Kovac
		10	ANTI-CORRUPTION MEASURES IN THE CONTEXT OF THE MIGRATION CRISIS IN EUROPE	Elena Petrovna

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Prof. Dr. Hiroshi Takahashi	1	ADVANCING GENDER EQUALITY THROUGH TRADITIONAL INTERPRETATION IN ISLAMIC CULTURE	Dr. Zaynab Qasim
		2	THE INFLUENCE OF FRENCH LITERARY TRENDS ON TUNISIAN WOMEN WRITERS IN THE 20TH CENTURY	Rachida Ben Ali
		3	THE ETHICS OF HUMAN-NATURE RELATIONS: A GLOBAL PERSPECTIVE	Prof. Dr. Hiroshi Takahashi
		4	PROTECTING HUMAN RIGHTS THROUGH EUROPEAN LEGISLATIVE INITIATIVES	Aminat Idris Olumide Oladipo
		5	THE LEGACY OF NIXON'S POLITICAL STRATEGIES: A COMPARATIVE COMMUNICATION STUDY	Marie Dubois
		6	SECURITY CHALLENGES IN STATES UNDER SEVERE MILITARY STRAIN: A STUDY OF ASYMMETRIC WARFARE	Dr. Mohammed Amin
		7	DEVELOPING A NEW FRAMEWORK FOR EVALUATING MEDIA TRUSTWORTHINESS	Nadia El-Sayed
		8	GENDER INEQUALITIES IN ACADEMIC RESEARCH: GLOBAL DISPARITIES AND IMPLICATIONS	Ravi Patel Sara Kovačević
		9	THE ROLE OF THE SWISS SCIENTIFIC SOCIETY IN GLOBAL DEVELOPMENT INITIATIVES	Dr. Marta Fischer

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Dr. Jessica Thompson	1	ASSESSMENT OF SHEAR STRENGTH PARAMETERS OF MODIFIED LOESS WITH COMMON ADMIXTURES IN GORGAN, IRAN	Seyed Erfan Hosseini Mohammad K. Alizadeh, Amir Mesbah
		2	DEVELOPMENT OF AN INTEGRATED BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) SYSTEM IN A CLOUD COMPUTING PLATFORM	Dr. Zhang Wei Prof. Liu Min
		3	SIMULATION AND PARAMETER OPTIMIZATION OF A RECTANGULAR MAGNETIC FIELD GENERATOR FOR INDUSTRIAL APPLICATIONS	Dr. Maria Gonzalez
		4	APPLICATION OF ADVANCED MACHINE LEARNING ALGORITHMS FOR STRUCTURAL HEALTH MONITORING	Ali Shah Ahmed Ali Farah Karim Saeed Zeynali
		5	THERMAL BEHAVIOR OF SUSTAINABLE CONCRETE MIXES WITH NATURAL INSULATION MATERIALS	L. Popescu S. Stanescu
		6	ASSESSING SAFETY RISKS IN URBAN CONSTRUCTION SITES THROUGH MACHINE LEARNING MODELS	Dr. Yiming Zhang Prof. Dr. Qian Zhao
		7	OPTIMIZATION OF THERMAL STABILITY IN COMPOSITE MATERIALS FOR AEROSPACE APPLICATIONS	Dr. Natalia Petrov Dr. Ilya Drozdenko
		8	IMPACT OF STRUCTURAL DESIGN ON THE PERFORMANCE OF BRIDGES UNDER SEISMIC LOADING CONDITIONS	Dr. Carlos Rodríguez Prof. Martina Serrano Dr. Felipe Duarte
		9	ENERGY-EFFICIENT MATERIALS IN CONSTRUCTION FOR REDUCING ENVIRONMENTAL IMPACT: A CASE STUDY	Dr. Jessica Thompson

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	Dr. Zanele Mthembu	1	SYNTHESIS OF POLYMERIC NANOCOMPOSITES FOR ENVIRONMENTAL REMEDIATION OF PHARMACEUTICAL POLLUTANTS	Jonas Fischer Lena Becker
		2	REMOVAL OF HEAVY METALS USING FUNCTIONALIZED BIOSORBENTS FROM AGRO-WASTE	Prof. Dr. Amadou Diallo, Dr. Fatoumata Traoré
		3	DEVELOPMENT OF BIOSENSOR PLATFORMS FOR DETECTION OF ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS	Maya Singh Ritu Sharma
		4	PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF HYDROGEL SYSTEMS CONTAINING ACTIVE PHARMACEUTICAL INGREDIENTS	Ravi Kumar, Manoj Kumar, Aakash Gupta
		5	OPTIMIZATION OF SOLID PHASE EXTRACTION FOR TRICYCLIC ANTIDEPRESSANT DRUGS IN URINE SAMPLES	Yasir Aslam, Farhan Ali, Sana Iqbal
		6	ANTIFUNGAL ACTIVITY OF NATURAL EXTRACTS FROM TRADITIONAL HERBS AGAINST COMMON PATHOGENS	Dr. Linda Pienaar, Dr. Zanele Mthembu
		7	ANALYSIS OF THE TOXICITY OF NANOPARTICLES IN AQUATIC ECOSYSTEMS: A COMPARATIVE STUDY	Kostas Papadopoulos, Nikoleta Georgiou, Ioannis Theodorou

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Dr. Nattha Kaewnopparat	1	DEVELOPMENT OF MOLECULAR IMPRINTED POLYMERS (MIPS) FOR THE SELECTIVE REMOVAL OF CARBAMAZEPINE FROM AQUEOUS SOLUTION	Bianca Schweiger, Lucile Bahnweg, Barbara Palm, Ute Steinfeld
		2	PENTACHLOROPHENOL REMOVAL VIA ADSORPTION AND BIODEGRADATION	Assis. Prof. Dr. Rakmi Abd.-Rahman Assis. Prof. Dr. Nurina Anuar
		3	FORMULATION AND EVALUATION OF VAGINAL SUPPOSITORIES CONTAINING LACTOBACILLUS	Lecture Sanae Kaewnopparat Dr. Nattha Kaewnopparat
		4	ASAD ULLAH MADNI, MAHMOOD AHMAD, NAVEED AKHTAR, MUHAMMAD USMAN	Asad Ullah Madni Mahmood Ahmad, Naveed Akhtar, Muhammad Usman
		5	SERICIN FILM: INFLUENCE OF CONCENTRATION ON ITS PHYSICAL PROPERTIES	Assis. Prof. Dr. N. Namviriyachote N. Bang, P. Aramwit
		6	VALIDATION AND APPLICATION OF A NEW OPTIMIZED RP-HPLC-FLUORESCENT DETECTION METHOD FOR NORFLOXACIN	Mahmood Ahmad Ghulam Murtaza Sonia Khiljee Dr. Muhammad Asadullah Madni
		7	ANTIBACTERIAL CAPACITY OF PLUMERIA ALBA PETALS	Assis. Prof. Dr. M. H. Syakira Dr. L. Brenda

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba	1	EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION IN KABUL CITY, AFGHANISTAN	Ahmad Sharif Ahmadi Yoshitaka Kajita
		2	INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN, IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS	Assis. Prof. Dr. R. Rafiemanzelat
		3	RENEWED URBAN WATERFRONT: SPATIAL CONDITIONS OF A CONTEMPORARY URBAN SPACE TYPOLOGY	Assis. Prof. Dr. Beate Niemann, Fabian Pramel
		4	URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES	Philip Speranza
		5	PERFORMANCE EVALUATION OF A 'PRIORITY-CONTROLLED' INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION	Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba
		6	DISCUSSION ABOUT FREQUENT ADJUSTMENT OF URBAN MASTER PLANNING IN CHINA: A CASE STUDY OF CHANGSHOU DISTRICT, CHONGQING CITY	Sun Ailu Zhao Wanmin
		7	HYBRID LIVING: EMERGING OUT OF THE CRISES AND DIVISIONS	Yiorgos Hadjichristou

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 11:30 – 13:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Assis. Prof. Dr. Ondşej Nowak	1	CORPORATE GOVERNANCE STRUCTURES AND OVERLAPPING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC	Assis. Prof. Dr. Ondşej Nowak
		2	THE INFLUENCE OF STAKEHOLDER COMMUNICATION STRATEGIES ON CONSUMERS' ACCEPTANCE AND FINANCIAL PERFORMANCE: IN THE CONTEXT OF THE FERTILIZER INDUSTRY IN MALAYSIA	Hasnida Abdul Wahab Shahrina Md Nordin Lai Fong Woon Hasrina Mustafa
		3	EXAMINATION OF RUBBER WASTE UTILIZATION AT PANDORA PRODUCTION COMPANY LIMITED	S. Pechpoothong M. Kopysteck
		4	ADDRESSING MONEY LAUNDERING IN THE BANKING INDUSTRY: INSIGHTS FROM THE MALAYSIAN EXPERIENCE	Aspalella A. Rahman
		5	HYBRID ENERGY PROVISION WITH PREDOMINANTLY RENEWABLE CHOICE FOR SMALL INDUSTRIAL COMPLEX	Dr. Tomislav Stambolic, Anton Causevski
		6	STATISTICAL FORECASTING OF LIKELY DISTRESS IN NIGERIA'S BANKING SECTOR USING A NEURAL NETWORK APPROACH	Prof. Dr. D. A. Farinde
		7	EFFECTIVENESS IN URBAN ADMINISTRATION FOR THE SUSTAINABILITY AND COMPETITIVENESS OF A CITY: A CASE STUDY OF KUALA LUMPUR	Hamzah Jusoh Azmizam Abdul Rashid
		8	AN INVESTIGATION OF A NEURO-FUZZY INFERENCE SYSTEM FOR FORECASTING GROWTH IN GROSS DOMESTIC PRODUCT	Assoc. Prof. E. Giovanis
		9	HAZARDS OF LATE PAYMENT IN THE MALAYSIAN CONSTRUCTION INDUSTRY	Dr. Kho Mei Ye Hamzah Abdul Rahman

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	Prof. Dr. MUNİSE AKSÖZ	1	TURKISH, ARABIC AND KURDISH NAMES IN THE NAME LISTS OF THE GERMAN	Prof. Dr. MUNİSE AKSÖZ
		2	STYLES FOUND BY STUDENTS IN THE POEMS OF CAHİT SITKI TARANCI	Prof. Dr. MUNİSE AKSÖZ
		3	DİVAN ŞİİRİNDE KÜLTÜREL BİR UNSUR OLARAK GİYSİ (19. YÜZYIL)	Dr. OĞUZ YILDIRIM
		4	ON THE HISTORICAL CHANGES IN THE GRAMMATICAL GENDER SYSTEM OF THE ARABIC LANGUAGE	DSc, associate professor Vugar Garadaghli
		5	DİLBİLİMDE SÖYLEM ANALİZİ NEDİR?	ILAHE NİYAZOVA

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	Dr. Öğr. Üyesi, ASLI KESKİN	1	SERBEST MUHASEBECİ MALİ MÜŞAVİRLERİN ENFLASYON MUHASEBESİ UYGULAMALARI HAKKINDAKİ GÖRÜŞLERİ: NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Dr. Öğr. Üyesi, ASLI KESKİN
		2	INFANT MORTALITY RATE in TERMS of HEALTH SERVICE UTILIZATION and INVESTMENT: A PANEL DATA ANALYSIS for TURKEY	Dr. Öğr. Üyesi MERYEM DEMİRTAŞ
		3	THE RISKS POSED BY SOCIAL MEDIA INFLUENCERS: A CONCEPTUAL ANALYSIS FOR BRANDS	Yüksek Lisans Öğrencisi, FATMAGÜL PARLAK Doç. Dr. EVRİM ERDOĞAN YAZAR
		4	DUYGUSAL EMEK VE DUYGUSAL EMEK YAKLAŞIMLARI	Havva Bezirganoğlu Doç. Dr. Elvettin Akman
		5	A QUALITATIVE STUDY ON THE EVALUATION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS IN MARBLE ENTERPRISES IN TERMS OF ECONOMIC-SOCIAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS	Mehmet ÖZTÜRK Dr. Öğr. Üyesi, İbrahim ALKARA
		6	THE FUTURE OF ENERGY CONSUMPTION, ECONOMIC GROWTH, AND CARBON EMISSIONS IN TÜRKİYE: FORECASTING WITH THE ARIMA MODEL	Assist. Prof. Dr. Emre AKUSTA
		7	KARBON VERGİSİNİN ETKİNLİĞİ ÜZERİNE AMPİRİK BİR İNCELEME	Yüksek Lisans Öğrencisi, Emine ÖRS Doç. Dr. Dilek SÜREKÇİ YAMAÇLI
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOCIAL SCIENCES SKOPJE				
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
26 Nisan / April 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	Prof. Dr. RAMAZAN BİÇER	1	EXAMİNİNG THE RELATIONSHIP BETWEEN DARK TRIAD PERSONALİTY TRAİTS AND CRİMİNAL THİNKİNG AND SELF-ESTEEM	Master's Student, Melek Gökse COŞKUN Doç. Dr. Burcu TÜRK
		2	EXAMINATION OF PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN TERMS OF VARIOUS DEMOGRAPHIC VARIABLES	Psychological Counselor, HATİCE GÜLAS Associate Professor, SEHER MERVE ERUS
		3	PROBLEMLİ AKILLI TELEFON KULLANIMININ ÇEŞİTLİ DEMOGRAFİK DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ	YURDAGÜL GÜMÜŞ Doç. Dr. SEHER MERVE ERUS
		4	TÜRKİYE'DE KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNE YÖNELİK FARKINDALIK	Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Yasin ŞENYURT Gizem ADATEPE
		5	Religious Pluralism, Exclusivity and Inclusion	Prof. Dr. RAMAZAN BİÇER
		6	The possibility of global morality	Prof. Dr. RAMAZAN BİÇER
		7	MÜKELLEF OLMAYAN ÇOCUKLARIN ELEMİNE DAİR EHL-İ SÜNNET VE MU'TEZİLE AÇISINDAN KARŞILAŞTIRMA	HATİCE DEMİR
		8		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	Prof.Dr. Nazan AVCIOGLU KALEBEK	1	SİLENE AEGYPTIACA' BİTKİSİNİN GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİ POPÜLASYONLARINDA TÜR DELİMİTASYONU	Yüksek lisans öğrenci, Mahmut ŞEN Dr. ERDAL ATEŞ Dr. Öğr. Üye Zeynep TOPRAK
		2	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ANTIBIOTIC RESISTANCE DEVELOPED IN <i>Klebsiella pneumoniae</i> WITH SUB-MINIMUM INHIBITORY CONCENTRATION AND CROSS-ANTIBIOTIC RESISTANCE ON BIOFILM FORMATION	MELIKA BIDOLLAHKHANI ERGIN MURAT ALTUNER
		3	PREDICTIVE MODELLING APPROACH TO UNDERSTAND THE COMBINED EFFECTS OF TEMPERATURE, pH, GLUCOSE, NaCl, AND MAGNESIUM ON <i>Klebsiella pneumoniae</i> BIOFILM DEVELOPMENT	MELIKA BIDOLLAHKHANI SELCEN GUL YUSUFOGLU ERGIN MURAT ALTUNER
		4	INVESTIGATION OF WATER RETAINING POLYMER HYDROGEL USED IN AGRICULTURE	Prof.Dr. Nazan AVCIOGLU KALEBEK
		5	DEFICIT IRRIGATION EFFECT ON SEED YIELD AND QUALITY OF PEPPER	BELKIS KAPLAN Prof. Dr. BİLAL ACAR Assoc. Prof. Dr. MUSA SEYMEN
		6	AN EGZOTIC SPECIES IN TURKISH FORESTRY: BLACK LOCUST	Dr. Öğrencisi, Tuğçe Baloğlu ERTAŞ Prof. Dr. Nebi BİLİR

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	Res. Asst. Ömer Atılım KOCA	1	PERSONALIZED GLUCOSE PREDICTION FOR DIABETES MANAGEMENT WITH Q-LEARNING AND UNSCENTED KALMAN FILTER	Gözde Havin FİDAN Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Res. Asst. Bengü FETİLER Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		2	REAL-TIME GLUCOSE PREDICTION WITH Q-LEARNING AND KALMAN FILTER FOR PERSONALIZED DIABETES MANAGEMENT	Gözde Havin FİDAN Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Res. Asst. Bengü FETİLER Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		3	A BENCHMARK STUDY OF RECURRENT NEURAL NETWORKS WITH EXTENSIONS FOR GLUCOSE PREDICTION	Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Res. Asst. Bengü FETİLER Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		4	BiLSTM-BASED TYPE-1 GLUCOSE PREDICTION WITH MULTI-PARAMETER INPUT ANALYSIS	Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Res. Asst. Bengü FETİLER Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		5	CLASSIFICATION OF CHEST X-RAY IMAGES USING VISION TRANSFORMER	Mustafa Melik AYANOĞLU Res. Asst. Bengü FETİLER Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Assoc. Prof. Volkan KILIÇ
		6	A HYBRID Q-LEARNING AND EXTENDED KALMAN FILTER APPROACH FOR REAL-TIME GLUCOSE PREDICTION IN DIABETES MANAGEMENT	Gözde Havin FİDAN Res. Asst. Ömer Atılım KOCA Res. Asst. Bengü FETİLER Assoc. Prof. Volkan KILIÇ

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:00 – 17:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	Prof. Dr. Mustafa GÜNAY	1	İZMİR ve ÇEVRESİ SİSMİK DAVRANIŞ PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ: KUVVETLİ YER HAREKETİ VERİLERİYLE YÜZEY DİNAMİKLERİNİN MODELLENMESİ	Halil Erdim SARITEPE Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ
		2	PMR TEKNOLOJİSİ İLE YERALTI SU PARAMETRELERİNİN SİSMİK SIVILAŞMA DEĞERLENDİRMELERİNE ENTEGRASYONU	Güven Doğan Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ
		3	2020 İZMİR DEPREMİ: GEOTEKNİK AÇIDAN İNCELEME VE ZEMİN DAVRANIŞLARI	Dr., ESRA GÜNERİ Lisans Öğrencisi, SAMET GÜNCÜ
		4	INVESTIGATION OF GAMMA RADIATION SHIELDING PROPERTIES IN Fe-FeB-Cu-C MATERIALS	Arş. Gör. Tuana GEL Doç. Dr. Emre TABAR Dr. Gamze HOŞGÖR Dr. Mesut Ramazan EKİCİ
		5	DECARBONIZATION AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY STRATEGIES IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY	Enes Tekelli Prof. Dr. Ayhan Menteş
		6	TÜRKİYE'DE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN DEMİRYOLLARINDA UYGULANMASI	İnşaat Mühendisi,AYKUT TOPÇU Arş. Gör. Dr.ONUR ŞAHİN
		7	YÜKSEK HIZLI TRENLERİN TÜRKİYE ULAŞIM AĞI İÇİNDEKİ YERİ VE TERCİH SEBEPLERİ	İnşaat Mühendisi,AYKUT TOPÇU Arş. Gör. Dr.ONUR ŞAHİN
		8	ELEKTRO EROZYONLA İŞLEMEDE ENERJİ TÜKETİMİ ÜZERİNE GÜNCEL BİR DEĞERLENDİRME	Doç. Dr. Mehmet Erdi Korkmaz Prof. Dr. Mustafa GÜNAY
		9	EKLEMELİ İMALAT PARÇALARDA SON İŞLEM YÖNTEMLERİNİN ANALİZİ	Doç. Dr. Mehmet Erdi Korkmaz Prof. Dr. Mustafa GÜNAY

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma	1	SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS	Emma Grigoryan, Ashot Khachatryan, Karapet Flora Avjyan Savchenko,
		2	PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS	Dr. Stepan Arakelova, Assis. Prof. Dr. Lilia Arsenyan
		3	INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS	Dr. Sunil Kamboj, Dr. Vipin Saini, Lecture GauravBala,
		4	ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES	Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma
		5	FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING	Dr. Bedi Neayti Singh Phd. Candidate Balvinder Thakur,
		6	THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS	Assis. Prof. Dr. Rathapon Dr.Sorrachaitawatwong, Nardauma Pouthai
		7	INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS	Sirijit Tipchuwong, Chayanid Asasutjarit

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	Assis. Prof. Dr. Maryam Rafsanjani	1	PERFORMANCE ENHANCEMENT OF MEMBRANE DISTILLATION PROCESS IN FRUIT JUICE CONCENTRATION BY MEMBRANE SURFACE MODIFICATION	Samir K. Deshmukh, Dr. Mayur M. Tajane
		2	PRODUCTION OF APRICOT VINEGAR USING AN ISOLATED ACETOBACTER STRAIN FROM IRANIAN APRICOT	Keivan Beheshti Maal, Rasoul Shafiei, Noushin Kabiri
		3	EFFECT OF FERMENTATION TIME ON XANTHAN GUM PRODUCTION FROM SUGAR BEET MOLASSES	Marzieh Moosavi- Nasab, Safoora Pashangeh, Assis. Prof. Dr. Maryam Rafsanjani
		4	UTILIZATION JUICE WASTES AS CORN REPLACEMENT IN THE BROILER DIET	Yose Rizal, Maria Endo Mahata, Mira Andriani, Guoyao Wu
		5	SURVEY OF IMPACT OF PRODUCTION AND ADOPTION OF NANOCROPS ON FOOD SECURITY	Sahar Dehyouri, Seyed Jamal Farajollah Hosseini
		6	SOUS VIDE PACKAGING TECHNOLOGY APPLICATION FOR SALAD WITH MEAT IN MAYONNAISE SHELF LIFE EXTENSION	Vita Levkane, Sandra Muizniece-Brasava, Lija Dukalska
		7	INVESTIGATION OF PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF THE BACTERIAL CELLULOSE PRODUCED BY GLUCONACETOBACTER XYLINUS FROM DATE SYRUP	Marzieh Moosavi-Nasab, Ali R. Yousefi

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	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. Duanghaklang, 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	EFFECT OF PRETREATMENT METHOD ON THE CONTENT OF PHENOLIC COMPOUNDS, VITAMIN C AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF DRIED DILL	Ruta Galoburda, Zanda Kruma, Karina Ruse
		9	VISUALIZED CHARACTERIZATION OF MOLECULAR MOBILITY FOR WATER SPECIES IN FOODS	Dr. Yasuyuki Konishi, Masayoshi Kobayashi

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira,	1	USING ISM TO IDENTIFY THE INTERRELATIONSHIPS AMONG CRITERIA FOR KNOWLEDGE MANAGEMENT WITHIN MALAYSIAN ORGANIZATIONS	Phd .Reza Sigari Tabrizi, Dr. Yeap Peik Foong, Nazli Ebrahimi
		2	EXPLORING THE IMPACT OF MARKET BETA ON ASSET PRICING: FINDINGS FROM THE ROMANIAN STOCK MARKET	Ioan Popa, Radu Lupu, Cristiana Tudor
		3	ASSESSING AN OFFSHORE WIND POWER PROJECT: ECONOMIC, STRATEGIC, AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT	Assis. Prof. Dr. Paula Ferreira, Filipa Vieira
		4	APPLICATION OF TOPSIS APPROACH TO SOLVE SUPPLIER SELECTION ISSUES	Dr. Omid Jadidi, Assis. Prof. Dr. Fatemeh Firouzi, Enzo Bagliery
		5	CORE PRINCIPLES OF THEORY OF CONSTRAINTS: AN UP-AND-COMING PHILOSOPHY	Ajay Gupta, Arvind Bhardwaj, Arun Kanda
		6	FRAMEWORK FOR POLICY MANAGEMENT IN ENTERPRISE POLICIES ADMINISTRATION	Dahir A. Ga'al, Wardah Zainal Abidin
		7	OPTIMIZING CUSTOMER RELATIONSHIPS THROUGH SOCIAL NETWORK MANAGEMENT	Assis. Prof. Dr. Srisawas Siriporn, Assis. Prof. Dr. Rotchanakitumnuai Siriluck
		8	STRATEGIES FOR DETERMINING THE IDEAL ASSET STRUCTURE FOR A COMMERCIAL BANK	Dr. Svetlana Saksonova
		9		

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 11	Assoc. Prof. Dr. Michael Lissack	1	WHEN ELUCIDATIONS "INDUCE" MISTAKES: AN EXAMINATION OF DEPICTIONS AND COMPRESSIONS	Assoc. Prof. Dr. Michael Lissack
		2	IMPLEMENTATION OF MICROSOFT TECHNOLOGIES IN COURSEWORK – AN INSTANCE STUDY	Lilac Al Safadi, Rana Abu Nafesa, Regina Garcia
		3	CYBERSPACE: A NOVEL MEDIUM TO ADVANCE TRADITIONAL DANCES IN INDONESIA PERSIAN BAZAARS: THE DEMONSTRATION OF STABLE IDEAS	Dr. Maria Satya Rani, Fandy Tjiptono, Suyoto
		4	ELEMENTS INFLUENCING ECOLOGICAL MANAGEMENT PRACTICES AMONG HOTELS IN MALAYSIA	Dr. Aida Amirazodi
		5	RESILIENT HUMAN RIGHTS GOVERNANCE: FORMULATING INTERNATIONAL STANDARDS	Zaiton Samdin, Kasimu Abdu Bakori, Hamimah Hassan
		6	DETERMINANTS FOR TRIUMPH IN EXPATRIATION OF MALAYSIAN INTERNATIONAL CORPORATIONS	Helen P. Greatrex
		7	SUSTAINABLE TOURISM, EXPANSION, ALONG WITH PREDOMINANT FUNCTION OF KHARK (KHARG) AND KHARKO ISLANDS	LEC. Senian Malie, Oriah Akir
		8	AESTHETICS OF MOBILE INTERFACE DESIGN	Maral Mohamadi Zanjani

BALKAN 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLIED SCIENCES April 25 - 27, 2025 SKOPJE Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224 26 Nisan / April 26, 2025 / 15:30 – 17:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 12	Dr. Miloš Šeda	1	OPTIMIZING OF GAS CONSUMPTION IN GAS-BURNER SPACE HEATER	Dr. Saeed Negahdari, Davood Jalali Vahid
		2	DEVELOPMENT OF AUTOMATIC GUIDED MOBILE ROBOT USING MAGNETIC POSITION METER	Geun-Mo Kim, Young-Jae Ryoo
		3	A SUPERVISORY SCHEME FOR STEP-WISE SAFE SWITCHING CONTROLLERS	Fotis N. Koumboulis, Maria P. Tzamtzi
		4	GEOMETRY DESIGN SUPPORTED BY MINIMIZING AND VISUALIZING COLLISION IN DYNAMIC PACKING	Johan Segeborn, Johan S. Carlson, Robert Bohlin, Rikard Söderberg
		5	FLEXIBLE HEURISTICS FOR PROJECT SCHEDULING WITH LIMITED RESOURCES	Dr. Miloš Šeda
		6	CLASSIC AND HEURISTIC APPROACHES IN ROBOT MOTION PLANNING A CHRONOLOGICAL REVIEW	Ellips Masehian, Davoud Sedighzadeh
		7	STABILIZER FILLET WELD STRENGTH UNDER MULTIAXIAL LOADING (EFFECT OF FORCE, SIZE AND RESIDUAL STRESS)	Iman Hadipour, Javad Marzbanrad
		8	INTELLIGENT ABS FUZZY CONTROLLER FOR DIVERSE ROADSURFACES	Dr. Roozbeh Keshmiri, Alireza Mohamad Shahri
		9		

Contents

MANYETİK Fe ₃ O ₄ PARÇACIKLARI İLE BOYA UZAKLAŞTIRILMASI	1
BİYOLOJİK ARITILMIŞ ORGANİK PEROKSİT ÜRETEK KİMYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN UV/TiO ₂ OKSİDASYON PROSESİ KULLANILARAK İLERİ ARITIMI	6
BİYOLOJİK ARITILMIŞ KAĞIT ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNDAN ADSORPSİYON PROSESİ İLE RENK GİDERİMİ	13
DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH OKRA LEAF POWDER AND PALM OIL FOR ENHANCED THERMOPHYSICAL PERFORMANCE	25
MİKROALG/ALGİNAT YEŞİL ADSORBAN İLE SULU ÇÖZELTİDEN MANGAN GİDERİMİ	42
FUSARIUM FUNGI PATHOGENS: IDENTIFICATION, IMPACT ON PLANT HEALTH, AND THE ADOPTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGICAL STRATEGIES FOR DISEASE MANAGEMENT AND SUSTAINABLE AGRICULTURE	51
COMPARISON OF EVOLUTIONS OF INTERNAL EROSION IN HOMOGENEOUS EARTH-FILL DAMS BUILT WITH MEDIUM SAND-CLAY MIXTURE WHEN THE SEEPAGE IS AT BOTTOM OR AT MIDDLE PART OF THE DAM	65
THE ROLE OF BIG DATA IN DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR INTERIOR DESIGN	74
WASTE MANAGEMENT AND CIRCULAR ECONOMY PRACTICES IN INTERIOR SPACES.....	83
NATIONWIDE STUDY ON THE SHIFT FROM CLSI TO EUCAST IN THE ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS OF <i>ESCHERICHIA COLI</i> ISOLATED FROM WOMEN WITH URINARY TRACT INFECTIONS.....	98
THE ROLE OF BACTERIAL AGENTS IN THE ETIOLOGY OF PROSTATIC INFECTIONS	112
KADINLARDA CİNSEL SAĞLIK OKURYAZARLIK DÜZEYİNİ NELER ETKİLİYOR? BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ ÖRNEĞİ	120
AWARENESS OF GYNECOLOGIC CANCERS IN WOMEN: A STUDY ON ENDOMETRIAL CANCER	130
İNME Lİ EVDE BAKIM HASTALARININ BAKIM VERİCİLERİNİN BİLGİ GEREKSİNİMLERİ	137
YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE HEMŞİRELİK BAKIM-UYGULAMA PROTOKOLLERİ	146
ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE ŞARJ VERİMLİLİĞİNİN ANALİZİ	153
ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİ ANALİZİ: SEGMENTLER, KULLANIM SENARYOLARI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE BİR İNCELEME.....	162
ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YANGIN RİSKLERİ VE TÜRKİYE DEĞERLENDİRMESİ	171
KOMPAKT VE GÜVENLİ PNÖMATİK KESME MAKİNESİ	182
ARDUİNO KONTROLLÜ PNÖMATİK AYIRMA MEKANİZMASINA SAHİP KONVEYÖR BANT TASARIMI	193
INVESTIGATION OF WATER RETAINING POLYMER HYDROGEL USED IN AGRICULTURE	200
DEFICIT IRRIGATION EFFECT ON SEED YIELD AND QUALITY OF PEPPER	212
TÜRKİYE ORMANCILIGINDA YABANCI BİR TÜR: YALANCI AKASYA.....	225
BİLSTM-BASED TYPE-1 GLUCOSE PREDICTION WITH MULTI-PARAMETER INPUT ANALYSIS....	232

A BENCHMARK STUDY OF RECURRENT NEURAL NETWORKS WITH EXTENSIONS FOR GLUCOSE PREDICTION	241
REAL-TIME GLUCOSE PREDICTION WITH Q-LEARNING AND KALMAN FILTER FOR PERSONALIZED DIABETES MANAGEMENT	249
PERSONALIZED GLUCOSE PREDICTION FOR DIABETES MANAGEMENT WITH Q-LEARNING AND UNSCENTED KALMAN FILTER	256
A HYBRID Q-LEARNING AND EXTENDED KALMAN FILTER APPROACH FOR REAL-TIME GLUCOSE PREDICTION IN DIABETES MANAGEMENT	264
CLASSIFICATION OF CHEST X-RAY IMAGES USING VISION TRANSFORMER.....	274
INTEGRATION OF GROUNDWATER PARAMETERS INTO SEISMIC LIQUEFICATION ASSESSMENTS WITH PMR TECHNOLOGY	281
EVALUATION OF SEISMIC BEHAVIOR PARAMETERS IN IZMİR AND ITS SURROUNDINGS: MODELLING OF SURFACE DYNAMICS WITH STRONG GROUND MOTION DATA	286
2020 İZMİR DEPREMİ: GEOTEKNİK AÇIDAN İNCELEME VE ZEMİN DAVRANIŞLARI	292
DECARBONIZATION AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY STRATEGIES IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY	305
TÜRKİYE'DE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN DEMİRYOLLARINDA UYGULANMASI	314
YÜKSEK HIZLI TRENLERİN TÜRKİYE ULAŞIM AĞI İÇİNDEKİ YERİ VE TERCİH SEBEPLERİ	325

MANYETİK Fe₃O₄ PARÇACIKLARI İLE BOYA UZAKLAŞTIRILMASI

ŞEVVAL KARAÇUKA

Amasya Üniversitesi, sevval.karacuka@icloud.com - ORCID ID: 0009-0002-4482-8734

Doç. Dr., LEVENT SEMİZ

Amasya Üniversitesi, levent.semiz@amasya.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-3218-4663

ÖZET

Kozmetik, ilaç, boya, plastik, deri ve tekstil gibi endüstriler yüksek miktarda boya kullanırlar. Bu boyaların büyük miktarı atık su olarak salınır. Bu durum çevresel yaşantıya ve insan sağlığına ciddi bir tehdit oluşturur. Çevre kirliliğinin yanı sıra, özellikle azo boyalar kanserojen özellik gösterebilmektedir. Bu nedenle atık sudan boyaların uzaklaştırılması ele alınması gereken önemli bir konudur. Bu konuda kullanılan metotlar arasında ozonlama, iyon değişimi, ekstraksiyon, elektroforez, flotasyon, flokülasyon, koagülasyon, biyolojik işlem, oksidasyon, degradasyon, filtrasyon ve adsorpsiyon sayılabilir. Bu işlemler arasında maliyet ve uygulama kolaylığı konuları düşünüldüğünde adsorpsiyon yöntemi avantajlı bir seçenek olarak gözükmetedir. Çalışma kapsamında parlak mavi R boyasının manyetik Fe₃O₄ (demir (II, III) oksit) parçacıkları ile adsorpsiyon yöntemi kullanılarak uzaklaştırılması sağlanmıştır. Parçacıkların sentezinde demir (II) ve demir (III) kaynağı olarak sırasıyla FeCl₃.H₂O ve FeSO₄.7H₂O kullanılmıştır. Manyetik özellikte olması sayesinde adsorpsiyon işlemi sonrasında bir magnet yardımıyla kolaylıkla sudan ayrışması sağlanabilecektir. Boya uzaklaştırma performansları ultraviyole absorpsiyon spektroskopisi yardımıyla incelenmiştir. Değişen boya konsantrasyonuna bağlı olarak elde edilen en yüksek uzaklaştırma oranı %89,4 ve gram adsorbent başına uzaklaştırılan boya miktarı 272,9 mg_{boya}/g_{adsorbent} olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, boya, adsorbent, demir oksit

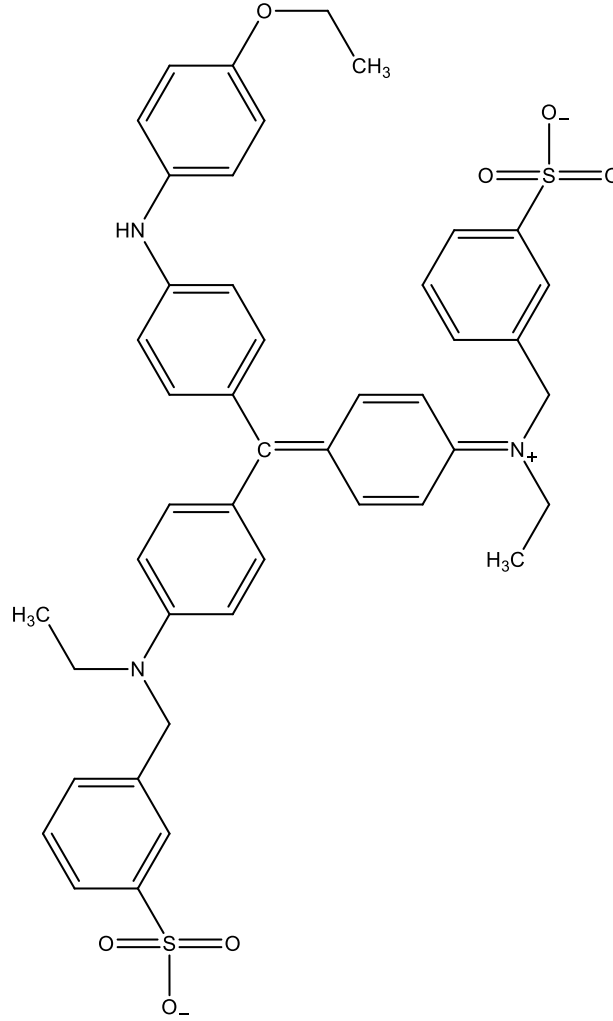
1. GİRİŞ

Kozmetik, ilaç, boya, plastik, deri ve tekstil gibi endüstriler yüksek miktarda boya kullanırlar [1-3]. Proses sonrası kullanılmayan miktarın büyük bir kısmı atık su olarak salınır. Salınan bu boya atıkları çevresel yaşantı ve insan sağlığı açısından ciddi bir tehdit unsuru oluşturur [4]. Ayrıca bazı boyaların kanserojen özellik gösterebilme ihtimalleri tehlikelerini daha da önemli hale getirir [5]. Dolayısıyla, atık sulardan bu boyaların uzaklaştırılması büyük önem arz etmektedir.

Boyaların atık sulardan uzaklaştırılması konusunda birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlar arasında çökeltme, biyoslah, bitkisel ıslah, zar filtrasyonu, fotokimyasal proses, fenton oksidasyonu, iyon değişimi, ozonlama, elektrokimyasal oksidasyon, elektrolitik çöktürme, ve adsorpsiyon yöntemleri sayılabilir [6-10]. Bu işlemler arasında maliyet ve uygulama kolaylığı konuları düşünüldüğünde adsorpsiyon yöntemi avantajlı bir seçenek olarak gözükmetedir. Bu çalışma kapsamında da söz konusu yöntem parlak mavi R boyasının (Görsel 1) manyetik Fe₃O₄ (demir (II, III) oksit) parçacıkları ile uzaklaştırılmasında kullanılmıştır.

Parçacıkların sentezinde demir (II) ve demir (III) kaynağı olarak sırasıyla FeCl₃.H₂O ve FeSO₄.7H₂O kullanılmıştır. Manyetik özellikte olması sayesinde adsorpsiyon işlemi sonrasında bir magnet yardımıyla kolaylıkla sudan ayrışması sağlanabilecektir. Boya uzaklaştırma performansları ultraviyole absorpsiyon spektroskopisi yardımıyla incelenmiştir. Değişen boya konsantrasyonuna bağlı olarak

elde edilen en yüksek uzaklaştırma oranı %89,4 ve gram adsorbent başına uzaklaştırılan boya miktarı 272,9 mg_{boya}/g_{adsorbent} olarak hesaplanmıştır.



Görsel 1. Parlak mavi R boyasının kimyasal yapısı

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında manyetik Fe₃O₄ parçacıkları sentezlenmiştir. Demir (II) ve demir (III) kaynağı olarak sırasıyla FeCl₃.H₂O ve FeSO₄.7H₂O kullanılmıştır. 0,04 mol FeCl₃.H₂O ve 0,02 mol FeSO₄.7H₂O 500 ml suda çözünmüştür. 2 M lık 500 ml NaOH çözeltisi hazırlanmış ve Fe(II) ve Fe(III) içeren çözeltiye damla damla eklenmiştir. Ekleme işlemi sonrası reaksiyonun tamamlanması için çözelti gece boyunca karıştırılmaya bırakılmıştır. Ardından çözelti filtre edilmiş, parçacıklar su ile birkaç kez yıkanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Kurutulan parçacıklar adsorpsiyon deneyleri öncesinde toz haline getirilmiştir.

Boya uzaklaştırma performansları ultraviyole absorpsiyon spektroskopisi yardımıyla incelenmiştir. Boyalar kendilerine özgü dalga boylarında ışığı abzorplarlar. Abzorpladıkları ışık oranı da konsantrasyonları ile orantılıdır. Boyaya özgü dalga boyundaki abzorbans miktarı ölçüldüğünde, boyanın konsantrasyonu bulunmuştur. Atık çözeltisinin adsorpsiyon öncesi ve sonrası konsantrasyonu aşağıdaki hesaplamalarla elde edilmiştir.

$$A = -\log T$$

$$T = \frac{I}{I_0}$$

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \varepsilon \times b \times c$$

A abzorbars, T transmitans (geçirgenlik), I_0 analiz edilen çözeltiye giren ışığın şiddeti, I analiz edilen çözeltiden çıkan ışığın şiddeti, ε molar absorpsiyon katsayısı ($L \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), b ışığın çözelti içinde katettiği yol (cm) ve c çözelti konsantrasyonudur (mol L^{-1}).

Aynı tür örnek ve cihaz için ε ve b aynı olacağından abzorbars ile konsantrasyon arasında bir ilişki kurulabilir.

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{\varepsilon \times b \times c_1}{\varepsilon \times b \times c_2} = \frac{c_1}{c_2}$$

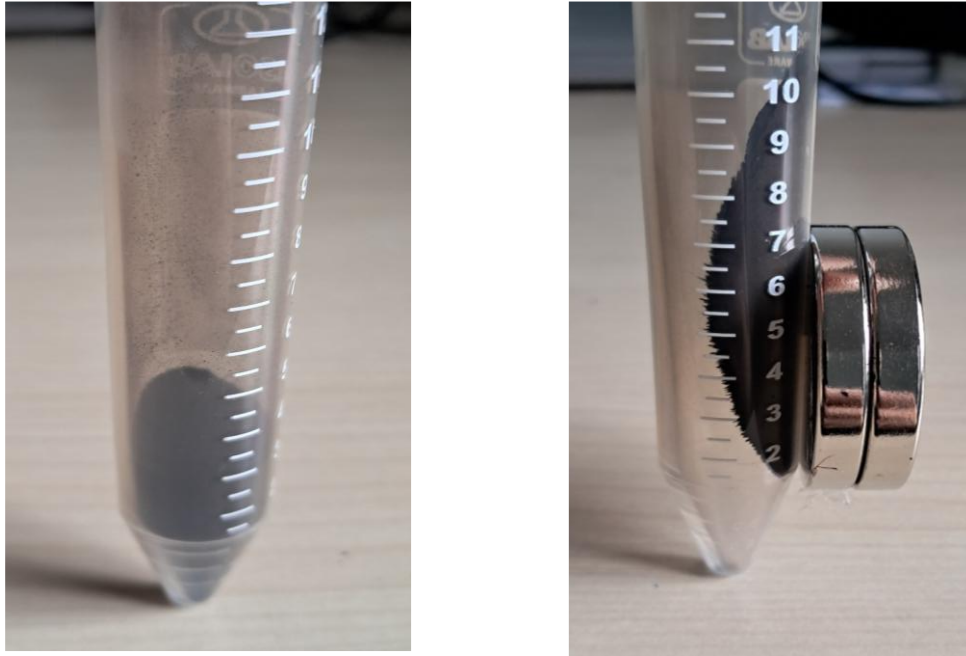
Filtrasyon öncesi ve sonrası abzorplamanın görüldüğü dalgaboyundaki değişim incelenir. Adsorpsiyon sonrası azalan konsantrasyon nedeniyle abzorbansta düşüş gözlenir. Bu düşüş de konsantrasyon ile oranlanarak, adsorpsiyon sonrası ne kadar atığın tutulduğu hesaplanır.

$$\text{Yüzde uzaklaştırma} = R = 100 \times \left(1 - \frac{c_i}{c_s}\right)$$

c_i adsorpsiyon öncesi atık çözeltisinin konsantrasyonu ve c_s adsorpsiyon sonrası atık konsantrasyonudur.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

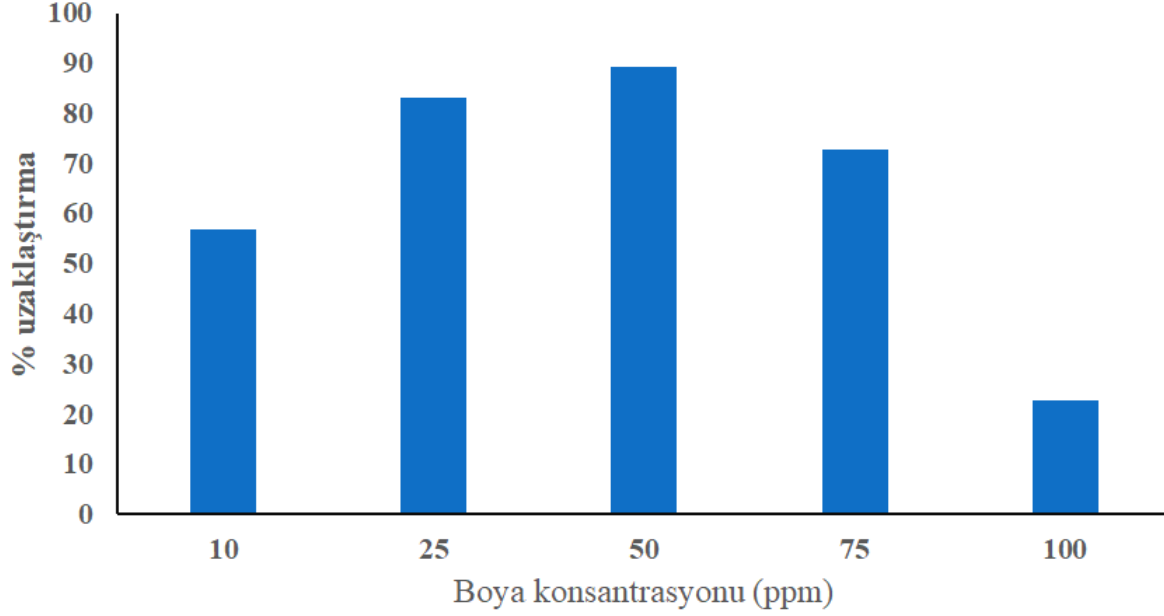
Üretilen Fe_3O_4 parçacıkları Görsel 2’de görülmektedir. Manyetik özelliği sayesinde bir magnet yardımıyla rahatlıkla çözeltiden ayrılabilir özellikte sahiptir.



Görsel 2. Üretilen manyetik Fe_3O_4 parçacıkları

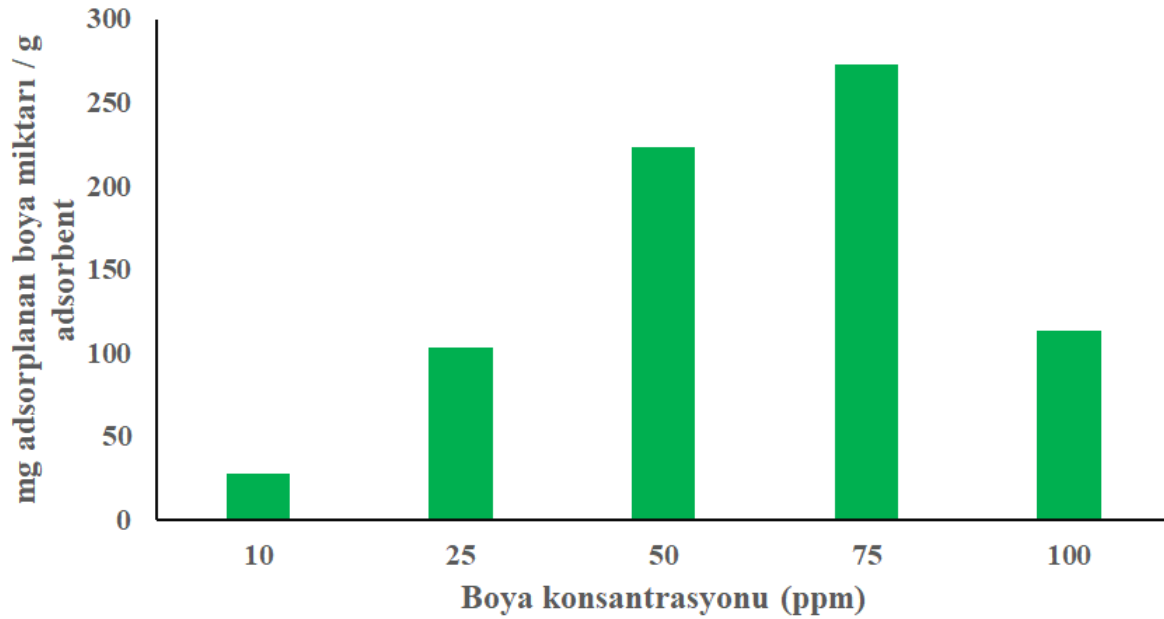
Adsorpsiyon deneylerinde kullanılan Fe_3O_4 miktarı 10 mg olarak ayarlanmıştır. Uzaklaştırılması amaçlanan boya konsantrasyonu ise 10 ppm’den 100 ppm’e değişkenlik göstermektedir. Böylelikle üretilen parçacıkların hem boya uzaklaştırma performansı

gözlemlenecek, hem de boya konsantrasyonunun parçacık performansı üzerindeki etkisi incelenebilecektir. Görsel 3'te görüldüğü üzere parçacıkların boya uzaklaştırma performansı boya konsantrasyonu 50 ppm olana kadar artış göstermiş ve sonrasında ise düşüş eğilimine girmiştir. En yüksek uzaklaştırma oranı 50 ppm'de %89,4 olarak hesaplanmıştır.



Görsel 3. Boya konsantrasyonunun % uzaklaştırma performansına etkisi

Diğer bir parçacık performansı ölçüsü ise gram adsorbent başına adsorplanan boya miktarıdır. Görsel 4'te yer alan grafikte, bu değer 75 ppm boya konsantrasyonuna kadar artış göstermiş, sonrasında ise azalmıştır. Elde edilen en yüksek değer 272,9 mg_{boya}/g_{adsorbent} olarak hesaplanmıştır.



Görsel 4. Boya konsantrasyonunun gram adsorbent başına uzaklaştırılan boya miktarına etkisi

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Elde edilen sonuçlara bakıldığında

- üretilen Fe_3O_4 parçacıklarının boya uzaklaştırılmasında kullanılabileceği
- boya adsorpsiyon miktarının başlangıç boya miktarına bağlı olduğu
- en yüksek yüzde uzaklaştırma oranının 50 ppm boya konsantrasyonunda %89,4 olarak bulunduğu
- en yüksek gram adsorbent başına adsorplanan boya miktarının ise 75 ppm boya konsantrasyonunda 272,9 $\text{mg}_{\text{boya}}/\text{g}_{\text{adsorbent}}$ olarak elde edildiği

görülmektedir.

Gelecek çalışmalar kapsamında da

- adsorbent miktarının adsorpsiyon performansına etkisi
- farklı boyaların adsorpsiyonu
- sıcaklığın adsorpsiyon performansına etkisi
- pH'ın adsorpsiyon performansına etkisi
- parçacık üretiminde stabilizatör kullanımının etkisi
- parçacıkların tavlanması adsorpsiyon performansına etkisi
- parçacık yüzeylerinin modifiye edilmesi ve kaplanması

planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] Alsawat, M. Congo red dye adsorption using $\text{CuSnO}_2\text{TiO}_2$ nanocomposites: Adsorption data interpretation by statistical modeling. *International Journal of Electrochemical Science*, 19, 100611, 2024.
- [2] Li, K., Wu, J., Li, X., Li, B., Zhou, D. Preparation of porous composite hydrogel with ultra-high dye adsorption capacity based on biochar: Adsorption behaviors and mechanisms. *Chemical Engineering Science*, 295, 120115, 2024.
- [3] Ullah, N., Ali, Z., Khan, A. S., Adalat, B., Nasrullah, A., Khan, S. B. Preparation and dye adsorption properties of activated carbon/clay/sodium alginate composite hydrogel membranes. *RSC Advances*, 14, 211-221, 2024.
- [4] Jerry, A. E., Alawamleh, H. S. K., Sami, M. H., Abbas, H. A., Sammen, S. S., Ahsan, A., Imteaz, M. A., Shanableh, A., Shafiquazzaman, M, Osman, H., Al-Ansari, N. Isotherms, kinetics and thermodynamic mechanism of methylene blue dye adsorption on synthesized activated carbon. *Scientific Reports*, 14, 970, 2024.
- [5] Bellaj, M., Aziz, K., Achaby, M. E., Haddad, M. E., Gebrati, L, Kurniawan, T. A., Chen, Z., Yap, P.-S., Aziz, F. Cationic and anionic dyes adsorption from wastewater by clay-chitosan composite: An integrated experimental and modeling study. *Chemical Engineering Science*, 285, 119615, 2024.
- [6] Raman, C. D., Kanmani, S. Textile dye degradation using nano zero valent iron: A review. *Journal of Environmental Management*, 177, 341-355, 2016.
- [7] Zhao, Y., Tao, X., Xu, B., Liu W., Lin, S. Robust Thiazole-Linked Covalent Organic Frameworks with Post-Modified Azobenzene Groups: Photo-Regulated Dye Adsorption and Separation. *Advanced Functional Materials*, 34, 2401895, 2024.
- [8] Lotha, T. N., Sorhie, V., Bharali, P., Jamir, L. Advancement in Sustainable Wastewater Treatment: A Multifaceted Approach to Textile Dye Removal through Physical, Biological and Chemical Techniques. *ChemistrySelect*, 9, e202304093, 1-18, 2024.
- [9] Sahu, A., Poler, J.C. Removal and degradation of dyes from textile industry wastewater: Benchmarking recent advancements, toxicity assessment and cost analysis of treatment processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12 (5), 113754, 2024.
- [10] Date, M., Jaspal, D. Dyes and heavy metals: removal, recovery and wastewater reuse-a review. *Sustainable Water Resources Management*, 10 (90), 1-14. 2024.

BİYOLOJİK ARITILMIŞ ORGANİK PEROKSİT ÜRETEK KİMYA ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNUN UV/TiO₂ OKSİDASYON PROSESİ KULLANILARAK İLERİ ARITIMI

Demet DARCAN

Akpa Kimya, Türkiye, demet.darcana@akpakimya.com, ORCID: 0000-0002-6676-2345

Prof. Dr. Deniz İzlen ÇİFÇİ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye, dicifci@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7527-6130

Prof. Dr. Ali Rıza DİNÇER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye, adincer@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9294-0643

ÖZET

Kimya endüstrisi atıksuları biyolojik arıtılabilirliği zor kalıcı organik bileşikler içerdiğinden biyolojik arıtma sonrasında ileri oksidasyon prosesleri ile ileri arıtıma ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada organik peroksit üreten kimya endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrasından alınan atıksuyunun UV/TiO₂ oksidasyon prosesi ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç kapsamında farklı pH (3-11) değerlerinde ve farklı TiO₂ konsantrasyonu (0,5-5,0 g/L) aralığında atıksu arıtımı yapılarak en iyi KOİ ve renk giderimi sağlanan koşullar belirlenmiştir. UV/TiO₂ oksidasyonu 11W UVC lambası ile 200 mL atıksu numunesi kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada farklı pH ve TiO₂ konsantrasyonlarında yapılan atıksu arıtımında en iyi KOİ ve renk giderimi pH 3 değerinde ve 2000 mg/L TiO₂ konsantrasyonunda elde edilmiştir. Bu koşullarda 90 dakika oksidasyon sonunda atıksuda %46,9 KOİ ve %96,8 renk giderimi gözlenmiştir. Bazik koşullarda atıksudaki KOİ ve renk gideriminin azaldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak organik peroksit üreten kimya endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrasında kalıcı organik kirleticilerin giderimi için UV/TiO₂ oksidasyon prosesinin uygulanabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, TiO₂, kimya endüstrisi, oksidasyon

1. GİRİŞ

İleri oksidasyon prosesleri karmaşık ve arıtımı zor olan endüstriyel atıksuların organik kirleticilerinin tam mineralizasyonu sağlayabilen arıtma prosesleridir [1]. İleri oksidasyon prosesleri seçici olmayan yüksek oksitleyici özelliğe sahip hidroksil radikali üretimine dayanmaktadır [2]. Fotokataliz, ozonlama, UV/H₂O₂, Fenton reaksiyonu gibi ileri oksidasyon prosesleri özellikle kalıcı, biyolojik arıtılabilirliği zor organik kirleticilerin arıtılmasında etkili olarak kullanılmaktadır [3].

İleri oksidasyon proseslerinden fotokatalitik oksidasyon prosesi güneş ışığı veya ultraviyole ışıklar ile yarı iletken fotokatalizör kullanılarak kalıcı arıtımı zor organik kirleticilerin parçalanmasını sağlayan etkili bir arıtma yöntemidir [4]. Fotokatalitik oksidasyon prosesinde çeşitli fotokatalizörler (TiO₂, ZnO, Fe₂O₃ vb.) arasından titanyum dioksit (TiO₂) güçlü oksidasyon özelliği, toksik olmaması, düşük maliyeti, yüksek stabilite ve organik bileşikler etkili giderimi sebebiyle katalizör olarak en yaygın tercih edilendir [5-6]. UV/TiO₂ oksidasyonunda TiO₂ ışık fotonunu emerek elektron-delik çiftinin oluşturur ve O₂ ve H₂O ile reaksiyona girerek reaktif oksidasyon türleri (O₂⁻ ve ·OH) oluşturmaktadır [5]. Bu oluşan oksidasyon radikalleri de atıksuda organik bileşikler etkili bir şekilde giderebilmektedir. Daha önce yapılmış çalışmalar da UV/TiO₂ oksidasyon prosesi ile atıksu arıtımının sağlanabileceğini göstermiştir. Ön arıtılmış palmye yağı değirmeni atıksuyunun UV/TiO₂ oksidasyon prosesi ile arıtımında pH, TiO₂ dozu ve oksidasyon süresi optimize edilmiştir [5]. Çalışmada pH 5,5 değerinde, 4,8 mg TiO₂ dozunda 42,9 dakika oksidasyon sonunda en yüksek KOİ ve renk giderimi elde edildiği belirtilmiştir. İlaç ve kozmetik endüstrisi atıksuyunun elektrokoagülasyon ile ön arıtımı sonrasında UV/TiO₂ oksidasyon prosesi ile arıtımı araştırılmıştır [7]. Çalışmada UV/TiO₂ oksidasyonunda en yüksek atıksu arıtımı pH 3 değerinde 0,25 g/L TiO₂ konsantrasyonunda 4 saat oksidasyon ile elde edilmiştir ve atıksuda KOİ gideriminin %98 olduğu bildirilmiştir. Kağıt hamuru atıksuyunun pH 11 değerinde ve 0,75 g/L TiO₂ dozunda 60 dakika UV/TiO₂ prosesi ile oksidasyonu sonunda %79,6 TOK giderimi elde edilmiştir [2]. Biyolojik arıtılmış sızıntı suyunun pH 5,7’de UV/TiO₂ ile oksidasyonunda ise %58 KOİ ve %36 renk giderimi gözlenmiştir [8]. Kağıt endüstrisi atıksuyunun UV/TiO₂ ile oksidasyonunda ise 0,75 g/L TiO₂ konsantrasyonunda %54,5 KOİ ve %83,7 renk giderimi elde edilmiştir [9].

Bu çalışmada organik peroksit üretimi yapan kimya endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrasında UV/TiO₂ oksidasyon prosesi ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçlar farklı pH değerlerinde ve farklı TiO₂ konsantrasyonlarında atıksu arıtımı yapılarak UV/TiO₂ oksidasyon prosesinin verimliliği ortaya konulmuştur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Biyolojik Arıtılmış Organik Peroksit Üreten Kimya Endüstrisi Atıksuyunun Özellikleri

Organik peroksit üretimi yapan kimya endüstrisinde aktif çamur sistemi ile biyolojik arıtma sonrası son çöktürme havuzundan atıksu alınmıştır. Biyolojik arıtılmış kimya endüstrisi atıksuyu 4030 mg/L KOİ konsantrasyonuna sahiptir.

2.2. UV/TiO₂ Oksidasyon Prosesi Deney Yöntemi

UV/TiO₂ oksidasyon prosesi için 11 W UVC lambası kullanılmıştır ve 250 mL mezür içine daldırılmıştır. TiO₂ (CAS: 13463-67-7) 25 nm partikül boyutuna sahip olup, Sigma Aldrich'den temin edilmiştir. 200 mL atıksu ve TiO₂ ilave edildikten sonra pH değeri ayarlanmıştır. Daha sonra mezür içerisine atıksu konulmuş ve UVC lambası da içerisine daldırılmıştır. Yaklaşık 450-500 rpm hızda karıştırma yapılarak UV/TiO₂ oksidasyonu gerçekleştirilmiştir. Oksidasyon süresi 90 dakika olarak seçilmiş ve 90 dakika sonunda atıksuyun KOİ deneyi yapılmıştır. Oksidasyon süresince 15 dakika aralıklar ile numune alınarak renk giderimi belirlenmiştir. Renk giderimi öncesi numunedeki TiO₂ katalizörünü ayırmak için 4000 rpm hızda 5 dakika santrifüj yapılmıştır.

UV/TiO₂ oksidasyonu ile atıksu arıtımında 1000 mg/L TiO₂ konsantrasyonunda pH 3, 5, 7, 9 ve 11 değerlerinde atıksu arıtımı yapılmıştır. Daha sonra pH 3 değerleri için 500, 1000, 2000, 3000, 4000 ve 5000 mg/L TiO₂ konsantrasyonları ile atıksu arıtımı yapılmıştır. 90 dakika sonunda atıksuyun KOİ deneyi yapılmıştır. Oksidasyon süresince 15 dakika aralıklar ile numune alınarak renk giderimi belirlenmiştir. Renk giderimi öncesi numunedeki TiO₂ katalizörünü ayırmak için 4000 rpm hızda 5 dakika santrifüj yapılmıştır.

2.3. Analiz Metotları

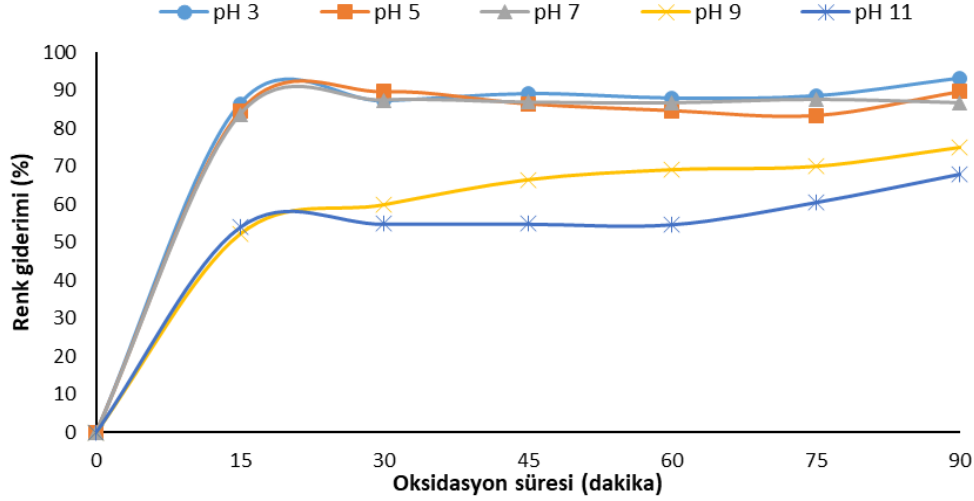
KOİ analizi standart metottaki kapalı yöntem titrasyon metoduna göre yapılmıştır (APHA 5220C). Spektrofotometre taraması kuvarz küvet (10 mm) kullanılarak UV-Vis spektrofotometre (Shimadzu) ile 436 nm, 525 nm and 620 nm dalga boylarının toplamı olarak renk ölçümü yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2.3. UV/TiO₂ Oksidasyon Prosesinde pH Etkisi

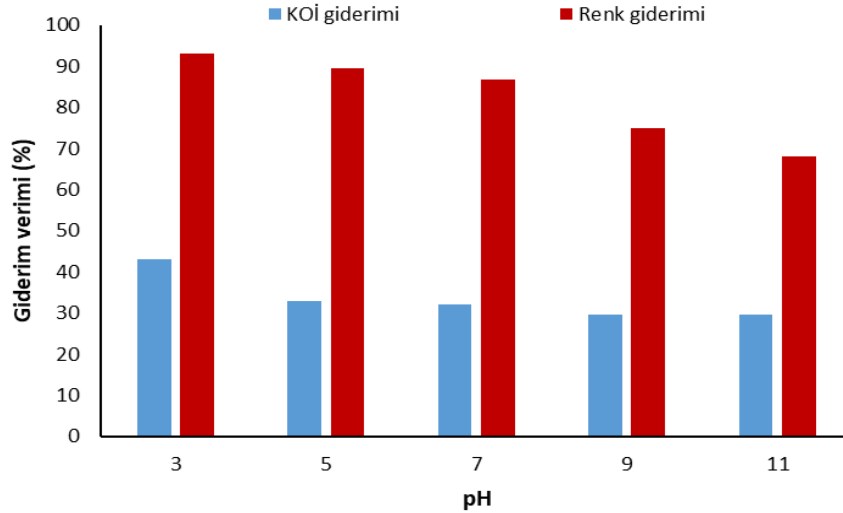
1000 mg/L TiO₂ konsantrasyonunda farklı pH değerlerinde yapılan atıksu arıtımı çalışmalarında zamana bağlı olarak renk giderimi değişimi Görsel 1'de verilmiştir. pH 3, 5 ve 7 değerlerinde renk giderimi birbirine yakın seyrederken, pH 9 ve 11 değerlerinde renk giderimi kademeli olarak azalmıştır. pH 3, 5 ve 7 değerlerinde renk giderimi ilk 15 dakika oksidasyon

süresinde hızla %80-85 aralığına yükselmiştir ve daha sonra renk gideriminde önemli bir değişim olmamıştır. pH 3 değerinde ilk 15 dakikada %86,4 renk giderimi sağlanırken, 90 dakika oksidasyon sonunda %93,1 renk giderimi ulaşılmıştır. pH 7 değerinde ise 15 dakika ve 90 dakika oksidasyon sürelerinde renk giderimi %83,6 ve %86,7'dir. pH 9 ve 11 değerlerinde ise 90 dakika oksidasyon süresince renk giderimi artmıştır.



Görsel 1. Farklı pH değerlerinde zamana bağlı renk giderimi (TiO₂: 1000 mg/L)

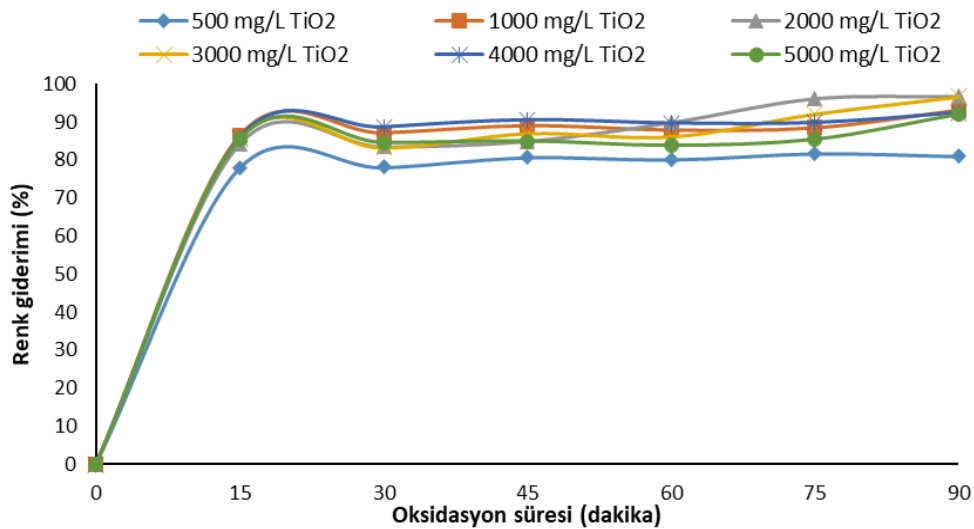
UV/TiO₂ oksidasyonunda 90 dakika oksidasyon süresi sonunda elde edilen KOİ ve renk giderim verimleri Görsel 2’de verilmiştir. pH 3’de en yüksek KOİ ve renk giderimi gözlenirken, bazik koşullarda (pH 9 ve 11) KOİ ve renk gideriminin düştüğü görülmektedir. pH 3, 5, 7, 9 ve 11 değerlerinde KOİ giderimi sırasıyla %43,1, %33,0, %32,0, %29,6 ve %29,5 olarak elde edilirken, renk giderimi %93,1, %89,6, %86,7, %74,9 ve %68,0 olarak elde edilmiştir. Bu yüzden biyolojik arıtılmış organik peroksit üreten kimya endüstrisi atıksuyunun UV/TiO₂ oksidasyonu ile arıtımında pH 3 değerinin uygun olduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde sentetik lignin atıksuyunun UV/TiO₂ ile oksidasyonunda da en yüksek renk giderimi pH 3 değerinde elde edilmiş ve pH 3 ve 1 g/L TiO₂ kullanılarak yapılan oksidasyonda %99 renk giderimi elde edilmiştir [10].



Görsel 2. UV/TiO₂ oksidasyon prosesi ile atıksu arıtımında pH etkisi (TiO₂: 1000 mg/L, oksidasyon süresi: 90 dakika)

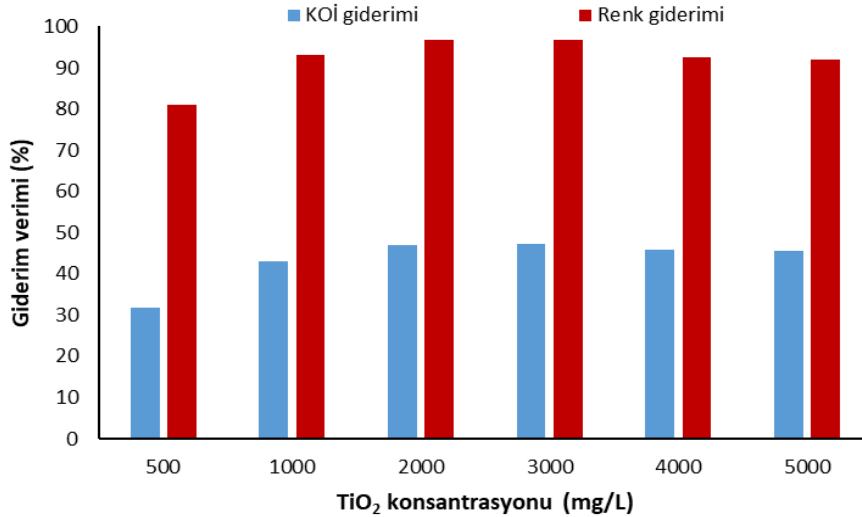
1.1.UV/TiO₂ oksidasyon prosesinde TiO₂ konsantrasyonu etkisi

Farklı pH değerlerinde yapılan atıksu arıtım çalışmalarında pH 3 değerinde en yüksek KOİ ve renk giderimi gözlenmiştir. Bu yüzden 500 mg/L ile 5000 mg/L TiO₂ konsantrasyonu aralığında farklı TiO₂ konsantrasyonları kullanılarak pH 3 değerinde atıksu arıtımı çalışmaları yapılmıştır. pH 3 değerinde yapılan UV/TiO₂ oksidasyon çalışmalarında ilk 15 dakika oksidasyon süresinde renk giderimi hızlı bir şekilde artarken, 15 dakikadan sonra renk gideriminde çok daha yavaş bir değişim görülmüştür (Görsel 3). 500 mg/L TiO₂ konsantrasyonunda ilk 15 dakikada renk giderimi %78,0 iken 90 dakika oksidasyon sonunda %81,0 olmuştur. Benzer şekilde 2000 mg/L TiO₂ konsantrasyonunda ilk 15 dakikada %84,2 ve 90 dakika sonunda ise %96,8 renk giderimi elde edilmiştir.



Görsel 3. Farklı TiO₂ konsantrasyonlarında zamana bağlı renk giderimi (pH: 3)

pH 3 değerinde farklı TiO_2 konsantrasyonlarında 90 dakika oksidasyon sonunda elde edilen KOİ ve renk giderimi Görsel 4’de verilmiştir. TiO_2 konsantrasyonu 500 mg/L’den 2000 mg/L’ye artması ile KOİ ve renk giderimi artarken, 2000 mg/L’den sonra KOİ ve renk gideriminde artış olmamıştır. 500 mg/L TiO_2 konsantrasyonunda %31,9 KOİ ve %81,0 renk giderimi gözlenmiş, 1000 mg/L’de KOİ ve renk giderimi %43,1 ve %93,1 değerlerine artmıştır. 2000 mg/L TiO_2 konsantrasyonunda ise KOİ ve renk giderimi %46,9 ve %96,8 olarak elde edilmiştir.



Görsel 4. UV/ TiO_2 oksidasyon prosesi ile atıksu arıtımında TiO_2 konsantrasyonu etkisi (pH: 3, oksidasyon süresi: 90 dakika)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada organik peroksit üreten kimya endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrasında alınan atıksuyunun UV/ TiO_2 oksidasyon prosesi ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada farklı pH ve TiO_2 konsantrasyonlarında yapılan atıksu arıtımında en iyi KOİ ve renk giderimi pH 3 değerinde ve 2000 mg/L TiO_2 konsantrasyonunda elde edilmiştir. Bu koşullarda 90 dakika oksidasyon sonunda atıksuda %46,9 KOİ giderimine ulaşılabilirken, 1 g/L TiO_2 konsantrasyonu üzerinde atıksu arıtımında %93’ün üzerinde renk giderimi sağlanabileceği görülmüştür. UV/ TiO_2 oksidasyon prosesi ile atıksu arıtımında pH’ın önemli olduğu görülmüştür ve bazı koşullara göre asidik koşullarda daha yüksek KOİ ve renk giderimine ulaşılmıştır. Sonuç olarak organik peroksit üreten kimya endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrasında kalıcı organik kirleticilerin giderimi için UV/ TiO_2 oksidasyon prosesinin uygulanabileceği görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma AKPA Kimya tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Rodrigues, A.C., Boroski, M., Shimada, N.S., Garcia, J.C., Nozakim, J., Hioka, N. Treatment of paper pulp and paper mill wastewater by coagulation–flocculation followed by heterogeneous photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 194, 1-10, 2008.
- [2] Catalkaya, E.C., Kargi, F. Advanced oxidation treatment of pulp mill effluent for TOC and toxicity removals. *Journal of Environmental Management*, 87, 396-404, 2008.
- [3] Park, Y., Kim, S., Kim, J., Khan, S., Han, C. UV/TiO₂ photocatalysis as an efficient livestock wastewater quaternary treatment for antibiotics removal. *Water*, 2022, 14, 958, 2022.
- [4] Rosa, D., Hasanova, S., Abbasova, N., Nacer, H., Aliyev, F., Palma, L.D. A simple and effective method coupling coagulation and UV/TiO₂ photocatalysis for treating real-produced wastewater from oil processing. *Chemical Papers*, 78, 7709-7718, 2024.
- [5] Alhaji, M.H., Sanaullah, K., Lim, S.F., Rigit, A.R.H., Hamza, A., Khan, A. Modeling and optimization of photocatalytic treatment of pre-treated palm oil mill effluent (POME) in a UV/TiO₂ system using response surface methodology (RSM). *Cogent Engineering*, 4(1), 1382980 (2017).
- [6] Ng, K.H., Khan, M.R., Ng, Y.H., Hossain, S.S., Cheng, C.K. Restoration of liquid effluent from oil palm agroindustry in Malaysia using UV/TiO₂ and UV/ZnO photocatalytic systems: A comparative study. *Journal of Environmental Management*, 196, 674-680, 2017.
- [7] Boroski, M., Rodrigues, A.C., Garcia, J.C., Sampaio, L.C., Nozaki, J., Hioka, N. Combined electrocoagulation and TiO₂ photoassisted treatment applied to wastewater effluents from pharmaceutical and cosmetic industries. *Journal of Hazardous Materials*, 162, 448-454, 2009.
- [8] Mokhtarani, N., Khodabakhshi, S., Ayati, B. Optimization of photocatalytic post-treatment of composting leachate using UV/TiO₂. *Desalination and Water Treatment*, 57, 22232-22243, 2016.
- [9] Kumar, P., Kumar, S., Bhardwaj, N.K., Kumar, S. Titanium dioxide photocatalysis for the pulp and paper industry wastewater treatment. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(3), 327-332, 2011
- [10] Chang, C.-N., Ma, Y.-S., Fang, G.-C., Chao, A.C., Tsai, M.-C., Sung, H.-F. Decolorizing of lignin wastewater using the photochemical UV/TiO₂ process. *Chemosphere*, 56, 1011-1017, 2004.

BİYOLOJİK ARITILMIŞ KAĞIT ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNDAN ADSORPSİYON PROSESİ İLE RENK GİDERİMİ

Demet DARCAN

Akpa Kimya, Türkiye, demet.darcana@akpakimya.com, ORCID: 0000-0002-6676-2345

Prof. Dr. Deniz İzlen ÇİFÇİ

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye, dicifci@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7527-6130

Prof. Dr. Ali Rıza DİNÇER

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Türkiye, adincer@nku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9294-0643

ÖZET

Bu çalışmada biyolojik olarak arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun adsorpsiyon prosesi ile ileri arıtımı araştırılmıştır. Bu amaç kapsamında hindistan cevizi ve kömür esaslı aktif karbon kullanılmış ve atıksuda renk ve ABS(254 nm) giderimi incelenmiştir. Her iki aktif karbon ile farklı pH değerlerinde ve aktif karbon dozlarında atıksu arıtımı yapılmıştır. pH 2 değerinde adsorpsiyon ile daha yüksek renk ve ABS(254 nm) giderimi gözlenirken, pH 11 değerinde atıksuda çöktürme de olduğu için renk ve ABS(254 nm) giderimi yüksek elde edilmiştir. Aktif karbon dozunun 70 g/L'ye kadar artması atıksudaki renk ve ABS(254 nm) giderimini arttırmıştır. Hindistan cevizi esaslı aktif karbona göre, kömür esaslı aktif karbon ile daha yüksek renk ve ABS(254 nm) giderimi elde edilmiştir. Biyolojik olarak arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunda en iyi arıtım kömür esaslı aktif karbon ile pH 2 değerinde ve 70 g/L aktif karbon dozunda elde edilmiş ve bu şartlarda yapılan adsorpsiyon sonunda %87,3 renk ve %92,4 ABS(254 nm) giderimine ulaşılmıştır. Sonuç olarak kağıt endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrasında adsorpsiyon prosesi ile ileri arıtımında renk gideriminin sağlanabileceği ve aynı zamanda aromatik bileşiklerin de giderilebileceği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Aktif karbon, ileri arıtma, renk giderimi

1. GİRİŞ

Kağıt endüstrisi yüksek miktarda su tüketmekte ve oluşan atıksuda yüksek BOİ, KOİ bulanıklık ve renk aynı zamanda toksik ve biyolojik olarak parçalanmayan lignin, sülfür, sülfat ve klorür bulunmaktadır [1-3]. Kağıt endüstrisi atıksuyu biyolojik arıtma sonrasında dahi biyolojik arıtılabilirliği zor olan çok miktarda lignin ve türevleri içermektedir ve bu kirleticiler alıcı ortamdaki olumsuz etkilerinden dolayı ileri arıtılması önemlidir [4].

Kağıt endüstrisi atıksuyunun çeşitli adsorbanlar ile adsorpsiyon prosesi ile arıtımı üzerine yapılan çalışmalar atıksuyun etkili bir şekilde arıtılabildiğini ortaya koymuştur. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun taban külü ile adsorpsiyonunda 100 g/L taban külü dozunda %40,6 KOİ giderimi elde edilmiştir [5]. Arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun şeker fabrikasında oluşan uçucu kül ile adsorpsiyonunda pH 4 ve 2 g/L uçucu kül dozunda %50 KOİ ve % 55 renk giderimi elde edilmiştir [3]. Kağıt endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrası arıtma çamuru ve şeker kamışı atığı ile hazırlanan biyokömür ile adsorpsiyonunda pH 3 ve 0,14 g/L adsorban dozunda 20 saat adsorpsiyon sonunda %84,6 KOİ ve %98,0 renk giderimi elde edilmiştir [6].

Kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi atıksuyunun portakal kabuklarından hazırlanan CoFe_2O_4 aktif karbon ile adsorpsiyonunda pH 7, 8 g/L aktif karbon dozunda en iyi atıksu arıtımı elde edilmiş ve atıksuda %86,7 KOİ, %93,1 bulanıklık giderimi elde edilmiştir [1]. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun odun bazlı aktif karbon ile adsorpsiyonunda pH 7,35 ve 1,2 g/L aktif karbon dozunda 40 dakika adsorpsiyon sonunda %75 KOİ giderimi elde edilmiştir [7]. Kağıt endüstrisi atıksuyunun aktif karbon ile adsorpsiyonunda pH 7,23 ve 500 mg/L aktif karbon dozunda %58 KOİ ve %43 TOK giderimi elde edilmiştir [8]. Kağıt endüstrisi atıksuyunun plastik atıkları ile adsorpsiyonunda en iyi atıksu arıtımı pH 8 ve 1,25 g adsorban dozunda 7 saat adsorpsiyon ile elde edilmiş ve adsorpsiyon sonunda %96,5 renk, %94,3 lignin giderimi sağlanmıştır [2]. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun toz aktif karbon ve kırmızı çam odun biyokömürü ile adsorpsiyonunda ise sırasıyla %68 ve %32 KOİ giderimine ulaşılmıştır [9].

Bu çalışmada biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun Hindistan cevizi esaslı aktif karbon (H_AC) ve kömür esaslı aktif karbon ile adsorpsiyon prosesi ile ileri arıtılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla farklı pH değerlerinde, farklı aktif karbon dozlarında ve farklı adsorpsiyon sürelerinde adsorpsiyon yapılarak KOİ, renk ve 254 nm dalga boyundaki aromatik bileşiklerin giderimi incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Biyolojik Arıtılmış Kağıt Endüstrisi Atıksuyunun Özellikleri

Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyu kağıt üretimi yapılan kağıt endüstrisinde biyolojik arıtma sonrası son çöktürme havuzundan alınmıştır. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyu 137 mg/L KOİ konsantrasyonuna sahiptir. Ancak kağıt endüstrisi atıksuyunda biyolojik arıtma ile renk tamamen giderilememiştir. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyu 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarındaki absorbans değerleri sırasıyla 0,164 abs, 0,084 abs ve 0,044 abs'dir. 254 nm dalga boyundaki aromatik bileşikler için absorbans değeri ise 1,560 abs'dir.

2.2. Adsorpsiyon Prosesi

Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun adsorpsiyon prosesi ile ileri arıtımı için adsorpsiyon prosesi kullanılmıştır. Adsorpsiyon prosesinde Hindistan cevizi esaslı aktif karbon ve kömür esaslı aktif karbon kullanılmıştır. Bu iki aktif karbon ticari toz aktif karbondur.

Adsorpsiyon çalışmaları 100 mL atıksu ile yapılmıştır ve adsorpsiyon süresi 1 saat olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyon 150 rpm hızda çalkalama ile gerçekleştirilmiştir. Atıksu içerisine aktif karbon konulmuş ve pH değeri pH metre ile ayarlanmıştır. pH ayarı H₂SO₄ ve NaOH ile yapılmıştır. Adsorpsiyon 1 saat yapıldıktan sonra 10 mL numune alınarak 4000 rpm hızda 5 dakika santrifüj yapılmış ve spektrofotometrede numune okunmuştur.

Adsorpsiyon çalışması ilk önce 20 g/L aktif karbon dozu için farklı pH değerlerinde yapılmıştır. Bunun için pH 2, 3, 5, 7, 9 ve 11 değerleri kullanılmıştır. Daha sonra ise pH 2 değerinde farklı aktif karbon dozlarında adsorpsiyon yapılmıştır. Bunun için 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 g/L aktif karbon dozları kullanılmıştır.

Adsorpsiyon prosesi çalışmalarında özellikle bazik şartlarda (pH 9 ve 11) atıksu arıtımında çöktürme etkisi araştırılmıştır. Bunun içinde atıksu farklı pH (3, 5, 7, 9 ve 11) değerlerine ayarlanmış ve 30 dakika çöktürme sağlanmıştır. Daha sonra 10 mL numune alınarak 4000 rpm hızda 5 dakika santrifüj yapılmış ve spektrofotometrede numune okunmuştur.

2.3. Analiz Metotları

KOİ analizi standart metottaki kapalı yöntem titrasyon metoduna göre yapılmıştır (APHA 5220C). Spektrofotometre taraması kuvarz küvet (10 mm) kullanılarak UV-Vis spektrofotometre (Shimadzu) ile 436 nm, 525 nm and 620 nm dalga boylarının toplamı olarak renk ölçümü yapılmıştır.

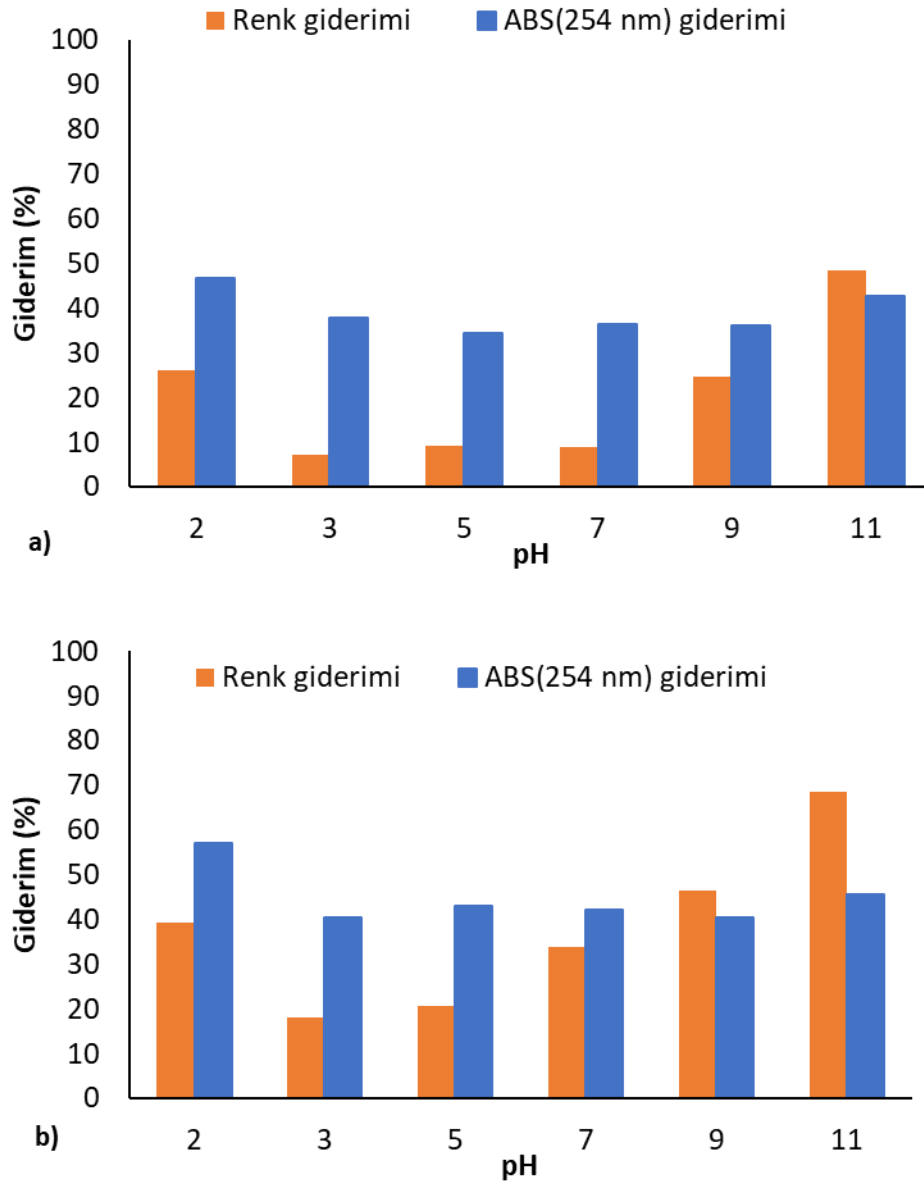
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. pH Etkisi

Farklı pH değerlerinde elde edilen renk giderimi ve ABS(254 nm) giderimi Görsel 1’de verilmiştir. Hindistan cevizi esaslı aktif karbon ile pH 2 değerinde %26,0 renk ve %46,8 ABS(254 nm) giderimi elde edilmiştir. pH 3 ve 5 değerlerinde renk giderimi düşükken, pH 9 ve 11 değerlerinde renk giderimi tekrar artmıştır. ABS(254 nm) giderimi de pH 3-9 aralığında düşükken, pH 11 değerinde artmıştır. pH 11 değerinde %48,3 renk ve %42,8 ABS(254 nm) giderimi elde edilmiştir.

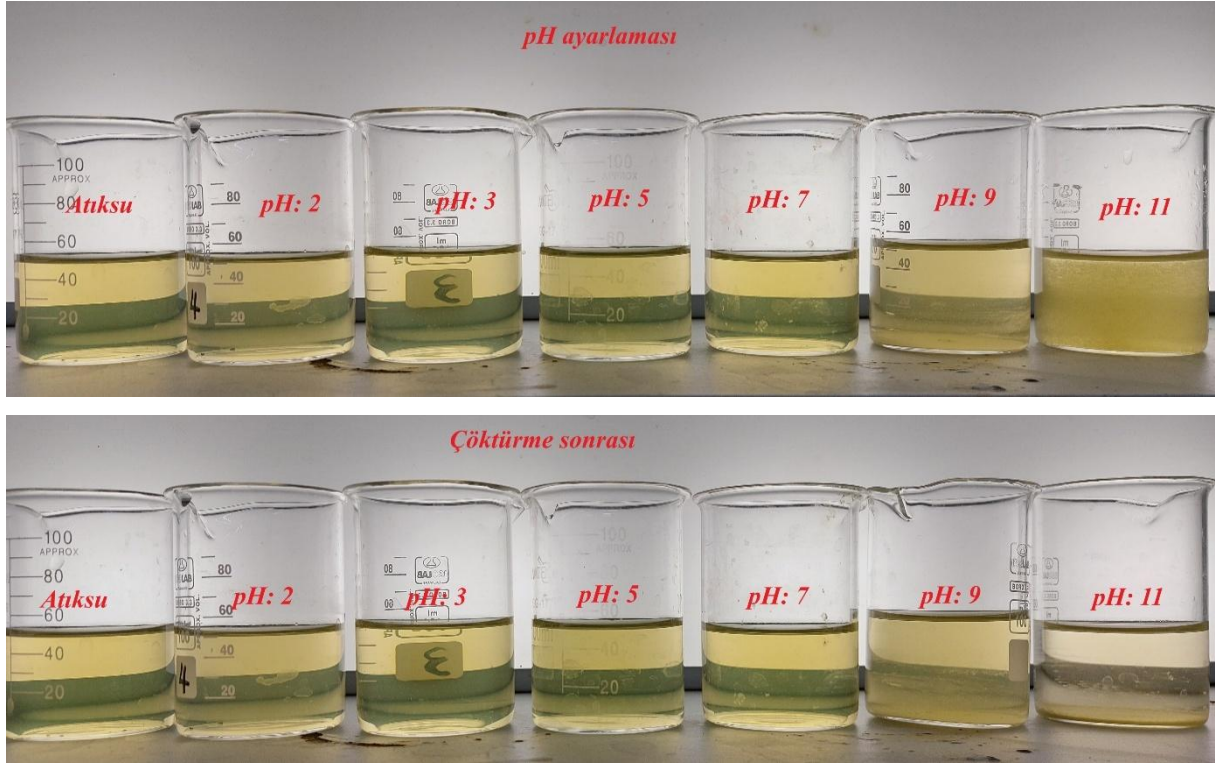
Kömür esaslı aktif karbon ile pH 2 değerinde %39,4 renk ve %57,2 ABS(254 nm) giderimi elde edilmiştir. pH 3 ile 7 değerlerinde renk giderimi düşükken, pH 9 ve 11 değerlerinde renk giderimi tekrar artmıştır. pH 11 değerinde %68,5 renk ve %45,6 ABS(254 nm) giderimi elde edilmiştir.

Biyolojik olarak arıtılmış kağıt yapım atıksuyunun manyetik aktif karbon ile adsorpsiyonunda pH 2 değerinde ve 1,2 g/L aktif karbon dozunda KOİ konsantrasyonu 120 mg/L’den 33 mg/L’ye azalırken, %100 renk giderimi gözlenmiştir [4]. Arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun şeker fabrikasında oluşan uçucu kül ile adsorpsiyonunda da en yüksek atıksu arıtımı pH 4 değerinde elde edilmiştir [3]. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun odun esaslı aktif karbon ile adsorpsiyonunda en yüksek atıksu arıtımı pH 2 değerinde elde edilmiştir [7]. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun arıtma çamuru ve şeker kamışı atığı ile hazırlanan biyokömür ile adsorpsiyonunda en yüksek KOİ ve renk giderimi pH 3 değerinde elde edilmiştir [6]. Kraft kağıt atıksuyunun aktif karbon ile adsorpsiyonunda en yüksek organik madde ve renk giderimi ise pH 11 değerinde elde edilmiştir [10]. Kağıt hamuru ve kağıt endüstrisi atıksuyunun portakal kabuklarından hazırlanan CoFe_2O_4 aktif karbon ile adsorpsiyonunda pH 7 değerinde en iyi KOİ ve bulanıklık giderimi elde edilmiştir [1].



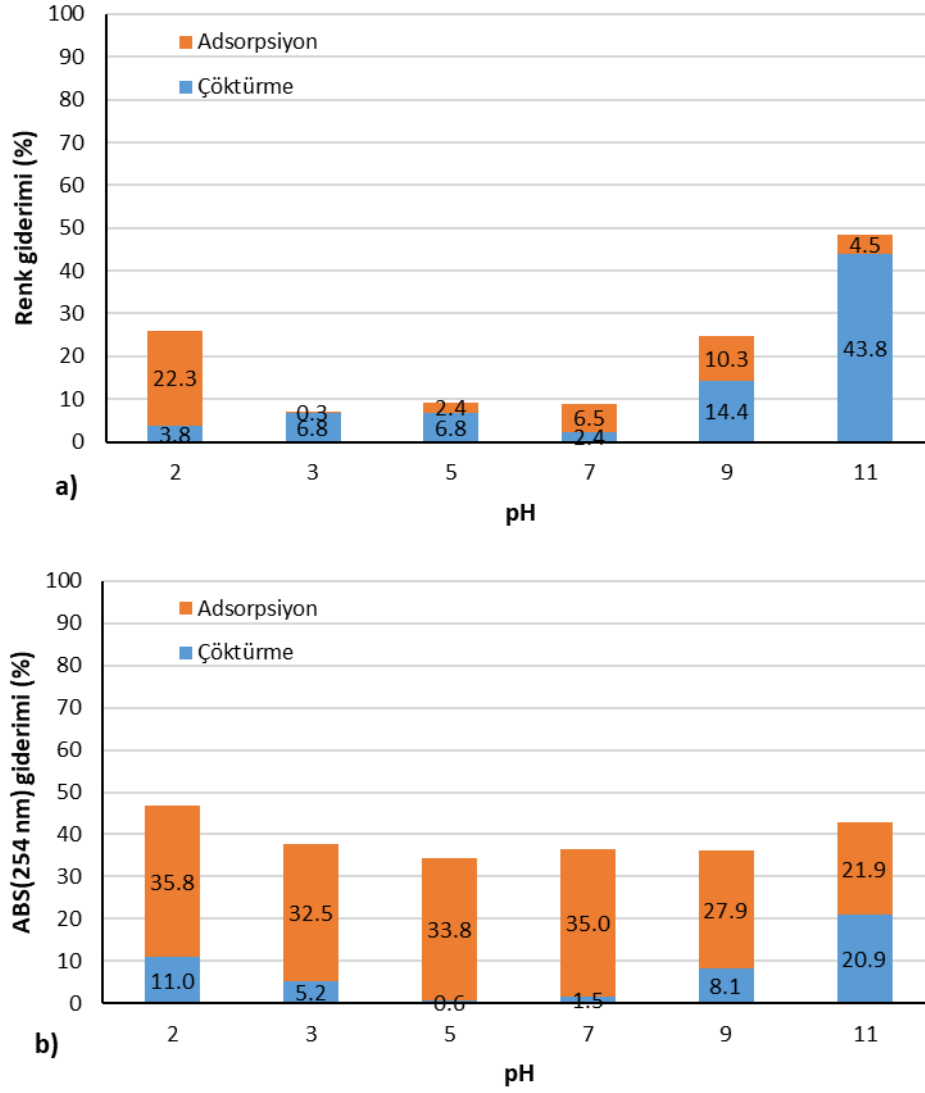
Görsel 1. Farklı pH değerlerinde renk ve ABS(254 nm) giderimi a) Hindistan cevizi esaslı aktif karbon, b) Kömür esaslı aktif karbon (Aktif karbon: 20 g/L)

Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun pH ayarlaması sırasında çökme oluştuğu gözlenmiştir. Bu yüzden biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyu farklı pH değerlerine ayarlanmış ve 30 dakika çöktürülmüştür. Atıksuyun görüntüleri Görsel 2’de verilmiştir. Çöktürme sonrası alınan numunelerde pH 2 değerinde renk ve ABS(254 nm) giderimi %3,8 ve %11,0 iken pH 11 değerinde renk ve ABS(254 nm) giderimi %43,8 ve %20,9’dur.

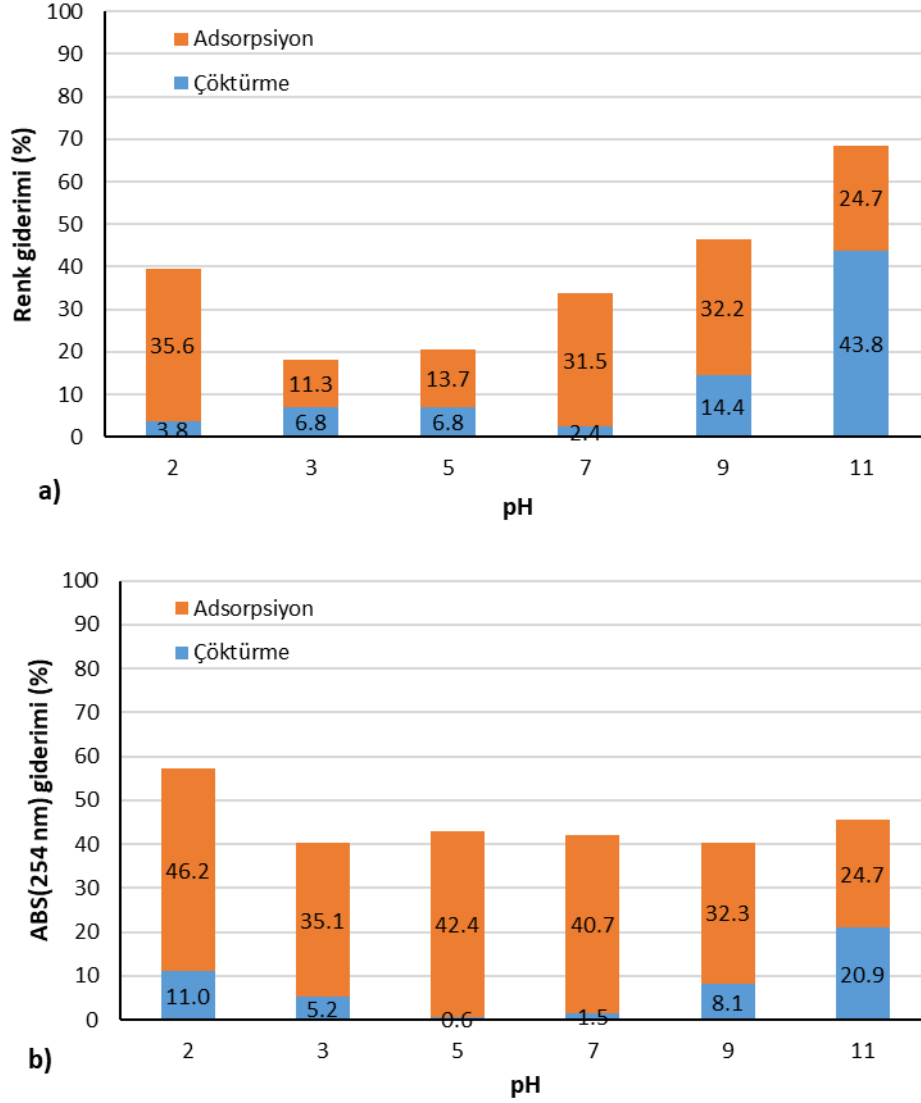


Görsel 2. Biyolojik arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun farklı pH değerlerinde çöktürmesi Adsorpsiyon prosesinde pH 11 değerinde renk ve ABS(254 nm) giderimi daha yüksek olarak elde edilmiştir. Ancak bu pH 11 değerinde çökme meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Hindistan cevizi esaslı aktif karbon ile adsorpsiyon prosesinde elde edilen sonuçlar adsorpsiyon ve çöktürme olarak ayrı ayrı verilmiştir (Görsel 3). pH 2 değerinde %26,0 olarak elde edilen renk gideriminin %3,8'i çöktürme ve %22,3'ü ise adsorpsiyon ile gerçekleşmiştir. pH 11'de ise %48,3 olarak elde edilen renk gideriminin %43,8'i çöktürme ve %4,5'i adsorpsiyon ile gerçekleşmiştir.

Kömür esaslı aktif karbon ile adsorpsiyon prosesinde elde edilen sonuçlar adsorpsiyon ve çöktürme olarak ayrı ayrı Görsel 4'de verilmiştir. pH 2 değerinde %39,4 olarak elde edilen renk gideriminin %3,8'i çöktürme ve %35,6'sı ise adsorpsiyon ile gerçekleşmiştir. pH 11'de ise %68,5 olarak elde edilen renk gideriminin %43,8'i çöktürme ve %24,7'si adsorpsiyon ile gerçekleşmiştir.



Görsel 3. Hindistan cevizi esaslı aktif karbon ile farklı pH değerlerinde **a)** renk ve **b)** ABS(254 nm) giderimi (çöktürme+adsorpsiyon)

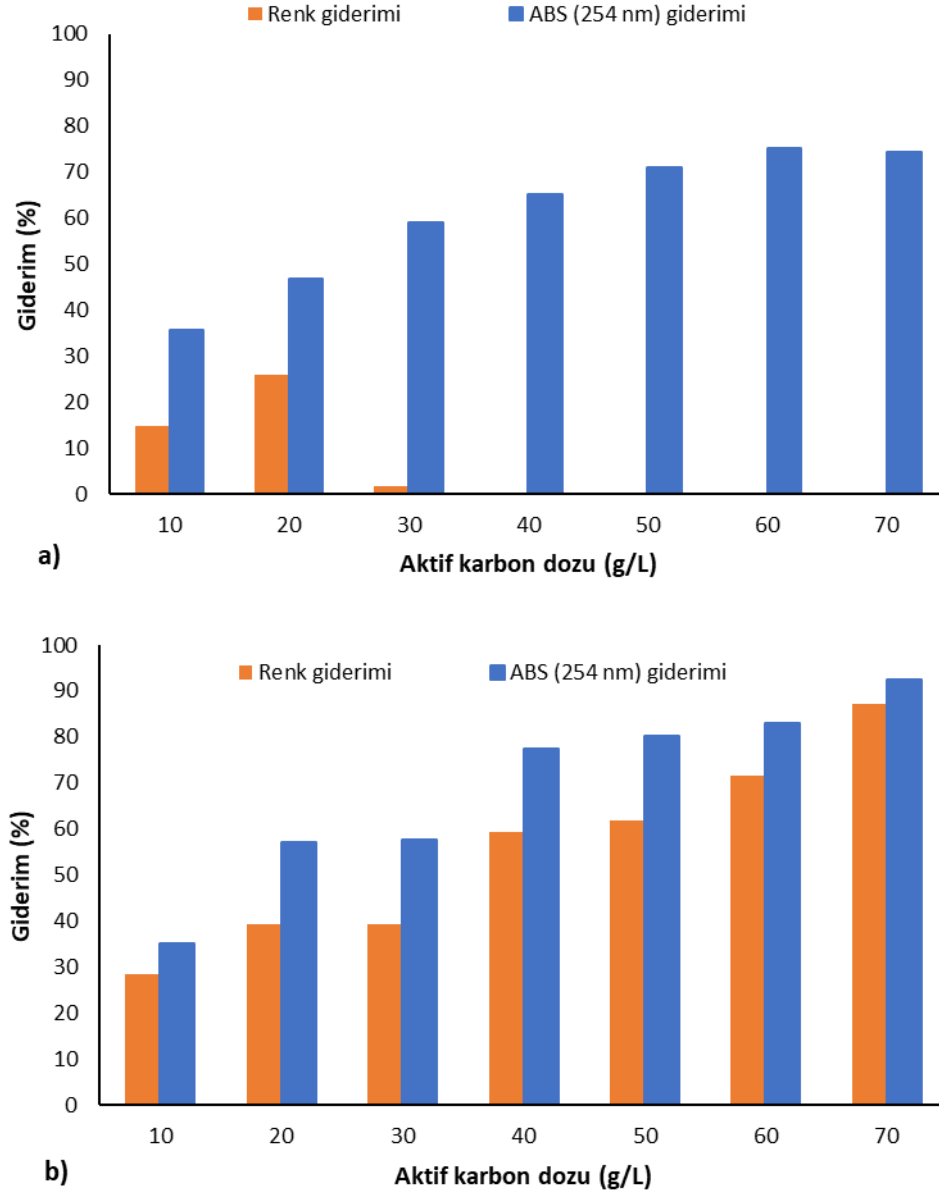


Görsel 4. Kömür esaslı aktif karbon ile farklı pH değerlerinde **a)** renk ve **b)** ABS(254 nm) giderimi (çöktürme+adsorpsiyon)

3.2. Aktif Karbon Dozu Etkisi

pH 2’de adsorpsiyon daha yüksek elde edilirken, pH 11 değerinde çöktürmede gerçekleşmesinden dolayı daha iyi atıksu arıtımı sağlanmıştır. Bu yüzden hindistan cevizi esaslı ve kömür esaslı aktif karbonlar ile hem pH 2’de hem de pH 11 farklı aktif karbon dozlarında adsorpsiyon yapılmıştır. pH 2 değerinde farklı aktif karbon dozlarında elde edilen renk ve ABS(254 nm) giderimi Görsel 5’de verilmiştir. 10 g/L hindistan cevizi esaslı aktif karbon ile pH 2 değerinde renk ve ABS(254 nm) giderimi sırasıyla %14,7 ve %35,8 iken, aktif karbon dozunun 60 g/L değerine kadar artması ile ABS(254 nm) giderimi (%75,1) artmıştır. 70 g/L aktif karbon dozunda ABS(254 nm) değerinde bir değişim gözlenmemiştir. Ancak aktif karbon dozu 20 g/L değerinden sonra renk giderimi azalmıştır. Bunun sebebi hindistan cevizi aktif karbonun siyahımsı renginin oluşmasıdır.

10 g/L kömür esaslı aktif karbon ile pH 2’de renk ve ABS(254 nm) giderimi sırasıyla %28,4 ve %35,1 iken, aktif karbon dozunun 70 g/L değerine kadar artması ile hem renk hem de ABS(254 nm) giderimi artmıştır. 20, 40, 60 ve 70 g/L aktif karbon dozlarında renk giderimi sırasıyla %39,4, %59,2, %71,6 ve %87,3 olarak elde edilirken, ABS(254 nm) giderimi %57,2, %77,4, %82,9 ve %92,4 olarak gözlenmiştir.

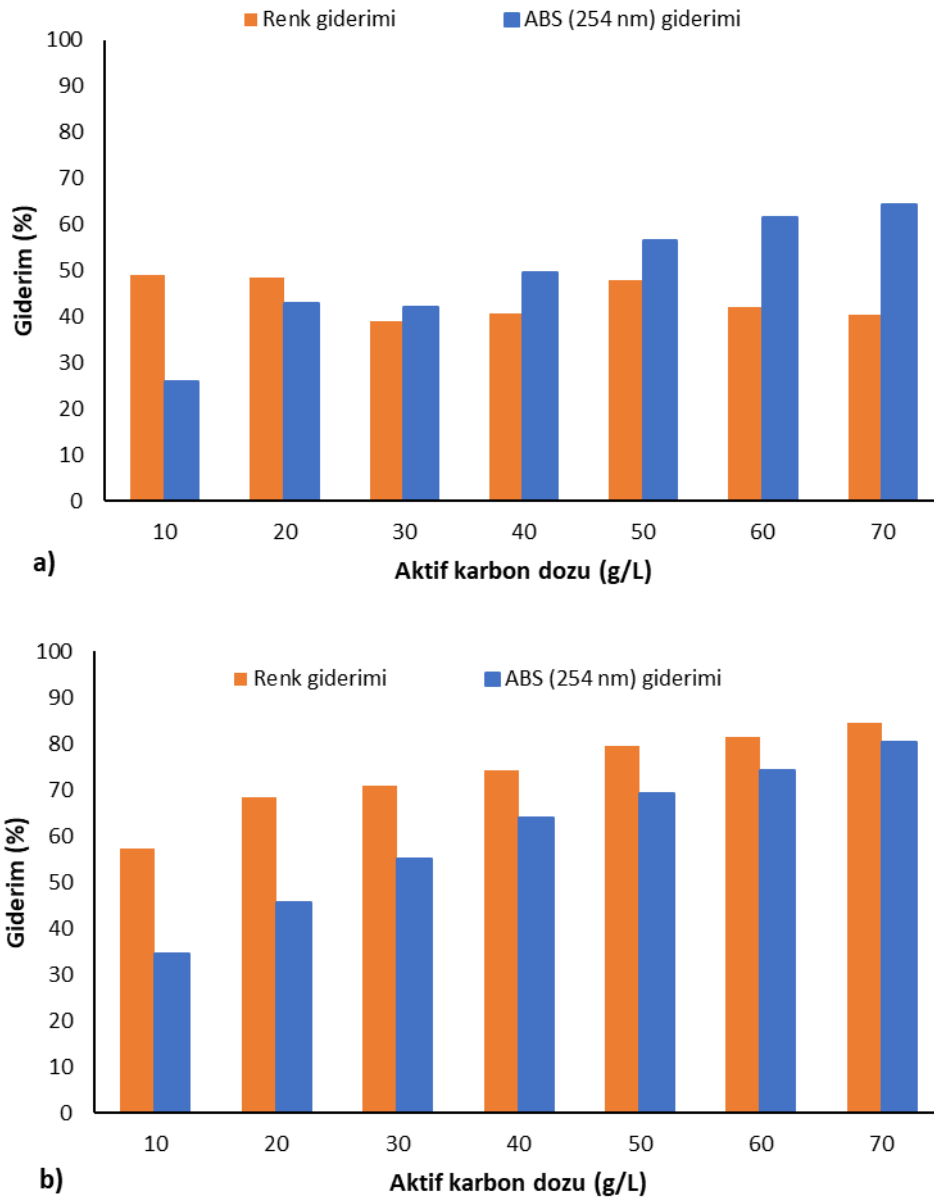


Görsel 5. Farklı aktif karbon dozlarında renk ve ABS(254 nm) giderimi a) Hindistan cevizi esaslı aktif karbon, b) Kömür esaslı aktif karbon (pH: 2)

pH 11 değerinde farklı aktif karbon dozlarında elde edilen renk ve ABS(254 nm) giderimi Görsel 6’da verilmiştir. pH 2’de olduğu gibi hindistan cevizi esaslı aktif karbon ile pH 11’de farklı aktif karbon dozlarında yapılan çalışmalarda da renk gideriminde düşüş gözlenmiştir.

10 g/L hindistan cevizi esaslı aktif karbon ile pH 11 değerinde renk ve ABS(254 nm) giderimi sırasıyla %49,0 ve %26,0 iken, aktif karbon dozunun 70 g/L değerine kadar artması ile ABS(254 nm) giderimi %64,4'e artmıştır.

Kömür esaslı aktif karbon ile pH 11'de yapılan adsorpsiyon çalışmalarında aktif karbon dozunun artması ile renk ve ABS(254 nm) giderimi artmıştır. 10 g/L kömür esaslı aktif karbon ile renk ve ABS(254 nm) giderimi sırasıyla %57,2 ve %34,4 olarak elde edilmiştir. 20, 40, 60 ve 70 g/L aktif karbon dozlarında renk giderimi sırasıyla %68,5, %74,3, %81,5 ve %84,6 olarak elde edilirken, ABS(254 nm) giderimi %45,6, %64,0, %74,3 ve %80,4 olarak gözlenmiştir.



Görsel 6. Farklı aktif karbon dozlarında renk ve ABS(254 nm) giderimi a) Hindistan cevizi esaslı aktif karbon, b) Kömür esaslı aktif karbon (pH: 11)

pH 2 ve pH 11 değerlerinde farklı aktif karbon dozlarında yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, hem hindistan cevizi hem de kömür esaslı aktif karbondaki renk giderimi pH 11 değerinde pH 2'ye göre daha yüksek gözlenmiştir. Bunun sebebi pH 11 değerinde atıksuda çökme oluşmuş ve çöktürme sonucu renk giderimi meydana gelmiştir. ABS(254 nm) giderimi incelendiğinde ise hem hindistan cevizi hem de kömür esaslı aktif karbondaki pH 2 değerinde pH 11'e göre daha yüksek giderim gözlenmiştir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada biyolojik olarak arıtılmış kağıt endüstrisi atıksuyunun hindistan cevizi ve kömür esaslı aktif karbon ile adsorpsiyon prosesi ile arıtımı araştırılmıştır. Hem hindistan cevizi ve kömür esaslı aktif karbon kullanılarak yapılan adsorpsiyon prosesi ile pH 2 değerinde daha yüksek renk ve ABS(254 nm) giderimi elde edilmiştir. Ancak pH 11 değerinde atıksuda çökme de olduğu için pH 11 değerinde renk ve ABS(254 nm) giderimi yüksek elde edilmiştir. Farklı aktif karbon dozlarında yapılan adsorpsiyon çalışmalarında ise aktif karbon dozunun 70 g/L'ye kadar artması ile atıksudaki renk ve ABS(254 nm) giderimi artmaktadır. Kömür esaslı aktif karbon ile Hindistan cevizi esaslı aktif karbondaki göre daha yüksek renk ve ABS(254 nm) giderimi elde edilmektedir. Kömür esaslı aktif karbon ile pH 2 ve pH 11 değerlerinde renk giderimi sırasıyla %87,3 ve %84,6 iken, ABS(254 nm) giderimi ise %92,4 ve %80,4 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak kağıt endüstrisi atıksuyunun biyolojik arıtma sonrasında adsorpsiyon prosesi ile ileri arıtımında renk gideriminin sağlanabileceği ve aynı zamanda aromatik bileşiklerin de giderilebileceği görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma AKPA Kimya tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Badawi, A.K., Hassan, R., Alghamdi, A.M., Ismail, B., Osman, R.M., Salama, R.S. Advancing cobalt ferrite-supported activated carbon from orange peels for real pulp and paper mill wastewater treatment. Desalination and Water Treatment, 318, 100331, 2024.
- [2] Gupta, V., Bhardwaj, N.K., Rawal, R.K. Removal of colour and lignin from paper mill wastewater using activated carbon from plastic mix waste. International Journal of Environmental Science and Technology, 19, 2641-2658, 2022.

- [3] Srivastava, V.C., Mall, I.D., Mishra, I.M. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminium chloride and bagasse fly ash. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 260, 17-28, 2005.
- [4] Feng, Z., Chena, H., Li, H., Yuan, R., Wang, F., Chen, Z., Zhoua, B. Preparation, characterization, and application of magnetic activated carbon for treatment of biologically treated papermaking wastewater. *Science of the Total Environment*, 713, 136423, 2020.
- [5] Sun, W.-L., Qu, Y.-Z., Yu, Q., Ni, J.-R. Adsorption of organic pollutants from coking and papermaking wastewaters by bottom ash. *Journal of Hazardous Materials*, 154, 595-601, 2008.
- [6] Kapatel, D.V., Rotliwala, Y.C., Patel, H.J. Co-pyrolysis based activated Bio-char: Characterization and its utilization for secondary treated pulp and paper industry wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 57, 1724-1729, 2022.
- [7] Hou, R., Li, H., Chen, H., Yuan, R., Wang, F. Chen, Z., Zhou, B. Tertiary treatment of biologically treated effluents from pulp and paper industry by microwave modified activated carbon adsorption. *Desalination and Water Treatment*, 182, 118-126, 2020.
- [8] Yadav, B.R., Garg, A. Treatment of pulp and paper mill effluent using physico -chemical processes. *PPTA Journal*, 23(2), 155-160, 2011.
- [9] Mainardis, M., Mulloni, S., Catenacci, A., Danielis, M., Furlani, E., Maschio, S., Goi, D. Sustainable alternatives for tertiary treatment of pulp and paper wastewater. *Sustainability*, 14, 6047, 2022.
- [10] Zhang, Q., Chuang, K.T. Adsorption of organic pollutants from effluents of a Kraft pulp mill on activated carbon and polymer resin. *Advances in Environmental Research*, 3, 251-258, 2001.

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF BIO-BASED EPOXY COMPOSITES REINFORCED WITH OKRA LEAF POWDER AND PALM OIL FOR ENHANCED THERMOPHYSICAL PERFORMANCE

PhD Student, Şermin DENİZ

Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 23119, Elazığ, Türkiye, E-mail: denizsermin2@gmail.com - ORCID ID: 0000-0001-5074-0777

Assoc. Prof. Dr. Ercan AYDOĞMUŞ

Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 23119, Elazığ, Türkiye, E-mail: ercanaydogmus@firat.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-1643-2487

Prof. Dr. Filiz KAR

Fırat University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 23119, Elazığ, Türkiye, E-mail: fkar@firat.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-4534-4064

ABSTRACT

As global environmental awareness grows, the demand for sustainable, biodegradable, and eco-friendly materials has become increasingly important, particularly in polymer composites. Petroleum-based synthetic polymers, while widely used, pose significant environmental challenges due to their non-biodegradable nature and reliance on finite fossil resources. This study explores the development of an environmentally friendly epoxy composite material by incorporating two natural additives: okra leaf powder (OLP) and palm oil (PO). Okra (*Abelmoschus esculentus*) leaves, obtained from local agricultural sources, were dried under controlled laboratory conditions, ground into a fine powder, and used as a bio-filler. Palm oil, a natural and biodegradable plasticizer, was added to enhance the flexibility and thermal behavior of the biocomposites. Various formulations were prepared by adding OLP in different weight percentages (0, 1, 2, and 4 wt.%) along with the constant (1 wt.%) PO in selected samples. The mixtures were mechanically stirred at 600 rpm for 3 min, followed by component B and a further 2 min of stirring the process. The resulting mixtures were cast into molds and cured at 50 °C for 24 hours. Comprehensive physical, mechanical, and thermophysical characterizations were conducted to evaluate the influence of the bio-additives on the composite performance. The findings demonstrate that OLP and PO incorporation can improve material properties while contributing to environmental sustainability. This approach highlights the potential of agricultural waste valorization in advanced materials engineering, promoting a circular economy and reducing the ecological footprint of synthetic polymer composites.

Keywords: Biocomposite, Okra leaf powder, Palm oil, Epoxy resin, Thermophysical properties, Sustainable materials

1. INTRODUCTION

In recent decades, the increasing demand for sustainable and environmentally responsible materials has driven extensive research into the development of bio-based composites. Conventional composite materials, especially those derived from petroleum-based resins and synthetic fibers, pose significant challenges related to environmental pollution, limited recyclability, and dependence on non-renewable resources. As a result, there has been a growing interest in incorporating natural fibers and biodegradable additives into polymer matrices to produce green composites with reduced ecological impact. Among the various types of natural reinforcements, agricultural by-products such as leaf powders and plant-based oils offer promising potential due to their abundance, low cost, and biodegradability [1-4]

One of the most widely used polymers in the composite industry is epoxy resins and their derivatives [5]. Epoxy resins are important and widely used due to their excellent thermal stability, strong adhesion, mechanical properties and chemical resistance [6]. They are important thermoset polymers with a highly cross-linked structure. They offer many advantages such as rapid cross-linking at ambient temperatures and a strong affinity for other materials [7-10]. Despite these advantages, their inherent brittleness, limited resistance to crack propagation, and their applications in high-performance areas are limited [11]. Epoxy resins are characterized by the presence of two or more oxirane groups in their structure. Their prepolymer and hardener properties depend on the combination of curing (hardeners). Diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) is the most widely used component, covering almost 70% of epoxy usage. DGEBA results from the reaction between bisphenol A and epichlorohydrin in the presence of sodium hydroxide. This epoxy prepolymer is preferred due to its relatively low viscosity, high physical strength after curing and low production cost. However, DGEBA shows a hard and brittle behavior with low resistance to crack propagation, which ultimately affects the applicability of this epoxy prepolymer. Epoxy resins are preferred in order to improve thermal resistance and mechanical properties, facilitate processing, reduce costs, increase modulus, reduce mold shrinkage, and provide a smoother surface. Epoxy resins can be used with fillers, solvents, diluents, plasticizers, catalysts, accelerators, and curing agents [12-15]. Biodegradable composites are developed using natural fibers and biological wastes as reinforcements. Epoxy matrix composites are widely used materials due to their lightness, high strength, high modulus, and good corrosion resistance [16-18].

This study focuses on the fabrication and characterization of epoxy composites reinforced with okra leaf powder (OLP) and plasticized with palm oil (PO). Okra (*Abelmoschus esculentus*), commonly cultivated in many regions for its edible pods, produces a large quantity of leaves that are typically discarded as waste. Utilizing okra leaves as a filler in polymer composites not only adds value to agricultural waste but also supports sustainable material development. Palm oil, on the other hand, serves as a natural plasticizer that can enhance the flexibility and thermal behavior of the composite. By combining these two bio-based materials with epoxy resin, the study aims to evaluate the feasibility of creating thermally and mechanically stable composites that align with eco-friendly production standards.

2. MATERIALS AND METHODS

In this study, commercially available epoxy resin was used as the polymer matrix due to its favorable mechanical, thermal, and dielectric properties. The curing agent (Epoxy B) compatible with the epoxy system was also supplied by the manufacturer and utilized in accordance with the recommended mixing ratio. Okra (*Abelmoschus esculentus*) leaves, sourced from local agricultural fields, were selected as the natural filler. The leaves were carefully washed to remove any surface impurities and dried under controlled laboratory conditions at 60 °C for 24 hours to eliminate residual moisture. Once fully dried, the leaves were ground into a fine powder using a high-speed laboratory grinder and subsequently sieved to obtain a uniform particle size suitable for composite fabrication. Additionally, commercially available palm oil was used as a biodegradable plasticizer to enhance the flexibility and thermophysical properties of the resulting biocomposites [19].

A series of biocomposite formulations were prepared by varying the okra leaf powder (OLP) content at 0, 1, 2, and 4 wt.%, while maintaining a constant 1 wt.% of palm oil in selected samples. Initially, the required amount of epoxy resin was mixed with palm oil and the predetermined quantity of OLP. This mixture was subjected to mechanical stirring at a constant speed of 600 rpm for 3 min to ensure proper dispersion of the bio-filler and plasticizer within the resin matrix. Following this, the curing agent was added according to the manufacturer's specifications, and the mixture was stirred for an additional 2 min to achieve complete homogenization. The prepared mixtures were then carefully poured into pre-cleaned and lubricated silicone molds to shape the specimens for physical, mechanical, thermal, and dielectric characterizations.

The cast samples were allowed to cure at 50 °C temperature for 24 hours to ensure full polymerization and dimensional stability. After curing, the specimens were demolded and

conditioned at ambient laboratory conditions for a minimum of 48 hours before testing. Bulk density, Shore D hardness, dielectric properties, and thermal conductivity measurements were conducted in accordance with standardized testing procedures. In addition, surface morphology analyses were performed using an optical microscope to evaluate the dispersion quality and microstructural features of the OLP within the epoxy matrix. These comprehensive characterizations provided critical insights into the influence of OLP and palm oil incorporation on the overall performance of the developed biocomposites.

The experimental matrix comprises seven formulations, categorized into two series; one without PO and another with 1 wt.% PO (Table 1). In the first series, OLP content increases from 0 to 4 wt.%, while epoxy ratios remain constant (Epoxy A/B $\approx$ 2/1). This allows isolation of OLP's impact on dielectric, thermal, and mechanical properties. The second series introduces PO at 1 wt.% alongside varying OLP loadings (1–4 wt.%), enabling analysis of synergistic effects between the filler and plasticizer. Notably, the epoxy matrix's weight fraction adjusts slightly to accommodate additives, ensuring consistent total mass across samples. The experimental design systematically evaluates the effects of OLP (0–4 wt.%) and PO (0–1 wt.%) on composite performance, with epoxy resin formulations (Epoxy A and Epoxy B) serving as the matrix (Figure 1).

Table 1. Experimental study plan for the biocomposite production

Experiments	Epoxy A (wt.%)	Epoxy B (wt.%)	OLP (wt.%)	PO (wt.%)
1	66.7	33.3	0.0	0.0
2	66.0	33.0	1.0	0.0
3	65.3	32.7	2.0	0.0
4	64.0	32.0	4.0	0.0
5	65.3	32.7	1.0	1.0
6	64.7	32.3	2.0	1.0
7	63.3	31.7	4.0	1.0

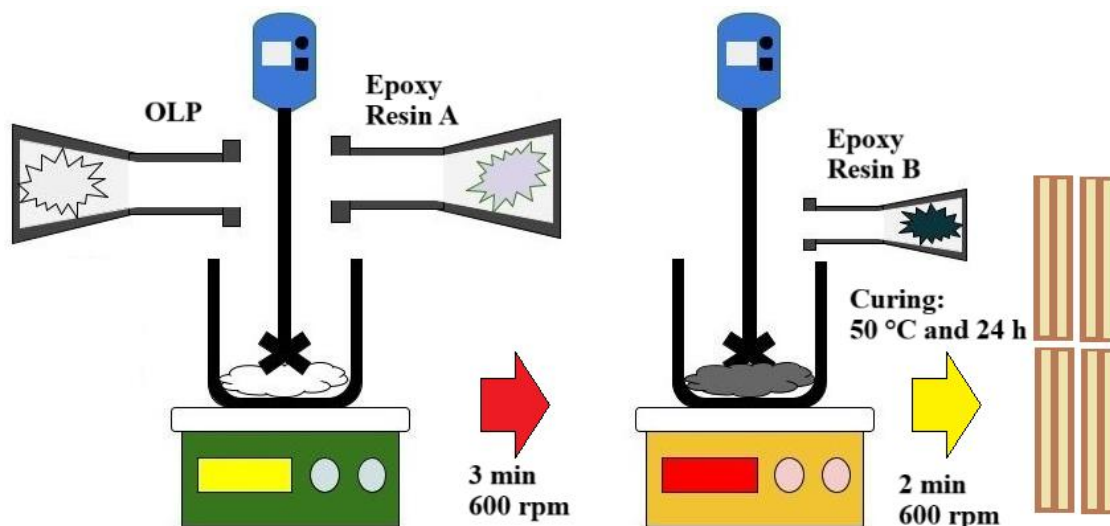


Figure 1. Experimental production scheme of biocomposites

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Bulk Density Results of the Biocomposites

Figure 2 illustrates the variation in the bulk density of epoxy-based biocomposites as a function of different weight percentages of okra leaf powder (OLP) reinforcement. As shown, the bulk density of the pure epoxy composite (0 wt.% OLP) starts at approximately 1134 kg/m^3 . With the incremental addition of OLP, the bulk density gradually decreases. At 1 wt.% OLP, the density slightly drops, and this decline continues more noticeably at 2 wt.%. Interestingly, no value is reported at 3 wt.%, suggesting either a measurement issue or omission. At 4 wt.% OLP, the composite exhibits a significant reduction in bulk density, reaching around 1105 kg/m^3 . This downward trend can be attributed to the lower intrinsic density of the okra leaf powder compared to the epoxy matrix, as well as the possible introduction of microvoids and increased porosity due to the incorporation of the fibrous, organic filler. The graph highlights how natural filler content influences the physical properties of polymer composites, particularly in reducing bulk density, which could be advantageous for lightweight material applications [20].

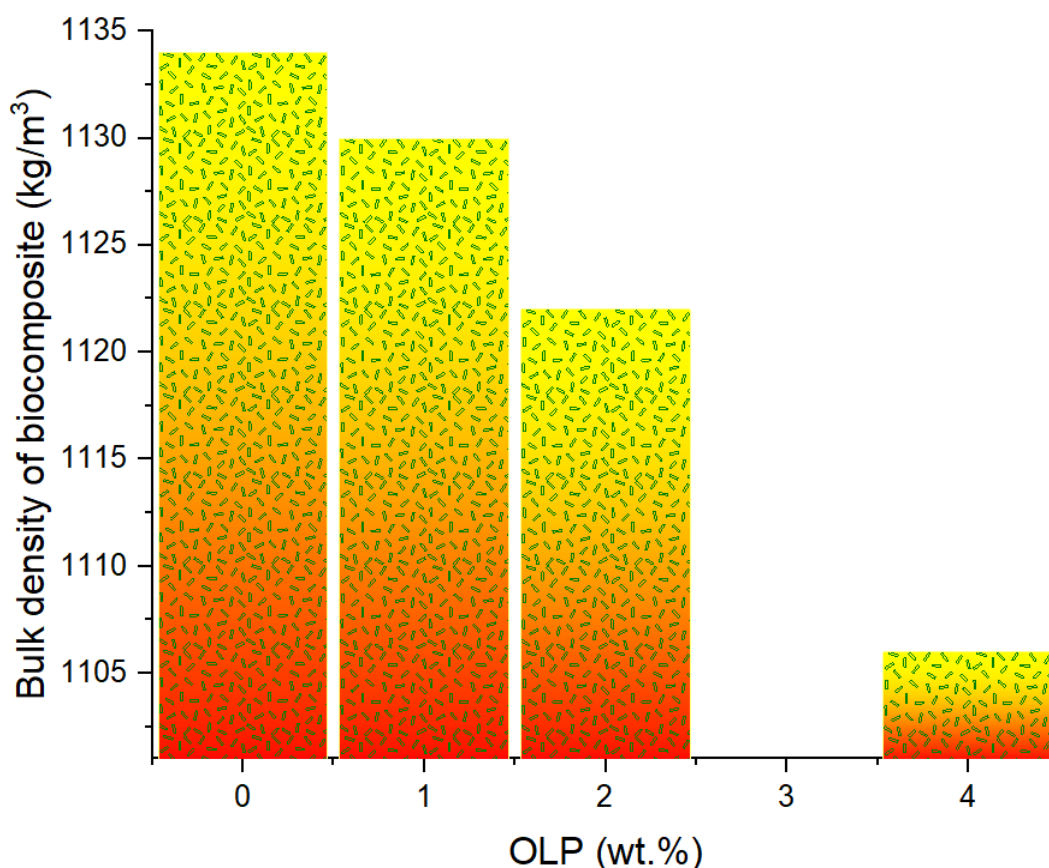


Figure 2. Effect of OLP reinforcement on the bulk density of biocomposite

3.2. Shore D Hardness Results of the Biocomposites

Figure 3 presents the variation in Shore D hardness values of epoxy-based biocomposites reinforced with different weight percentages of okra leaf powder (OLP). The Shore D hardness of the neat epoxy composite (0 wt.% OLP) is recorded at approximately 78, indicating a relatively high surface hardness typical of rigid thermosetting polymers. As the content of OLP increases, a gradual decrease in hardness is observed. At 1 wt.% OLP, the hardness slightly drops, followed by a more notable reduction at 2 wt.%. Interestingly, no value is reported at 3 wt.%, possibly due to experimental limitations or data exclusion. At 4 wt.% OLP, the Shore D hardness decreases significantly to around 68. This consistent decline in hardness with increasing OLP content can be attributed to the softer, fibrous, and organic nature of the okra leaf powder compared to the rigid epoxy matrix, as well as the potential formation of weak interfacial bonding and microvoids within the composite structure. These factors collectively reduce the overall resistance of the biocomposite surface to indentation, reflecting in lower Shore D hardness values as filler content increases [21].

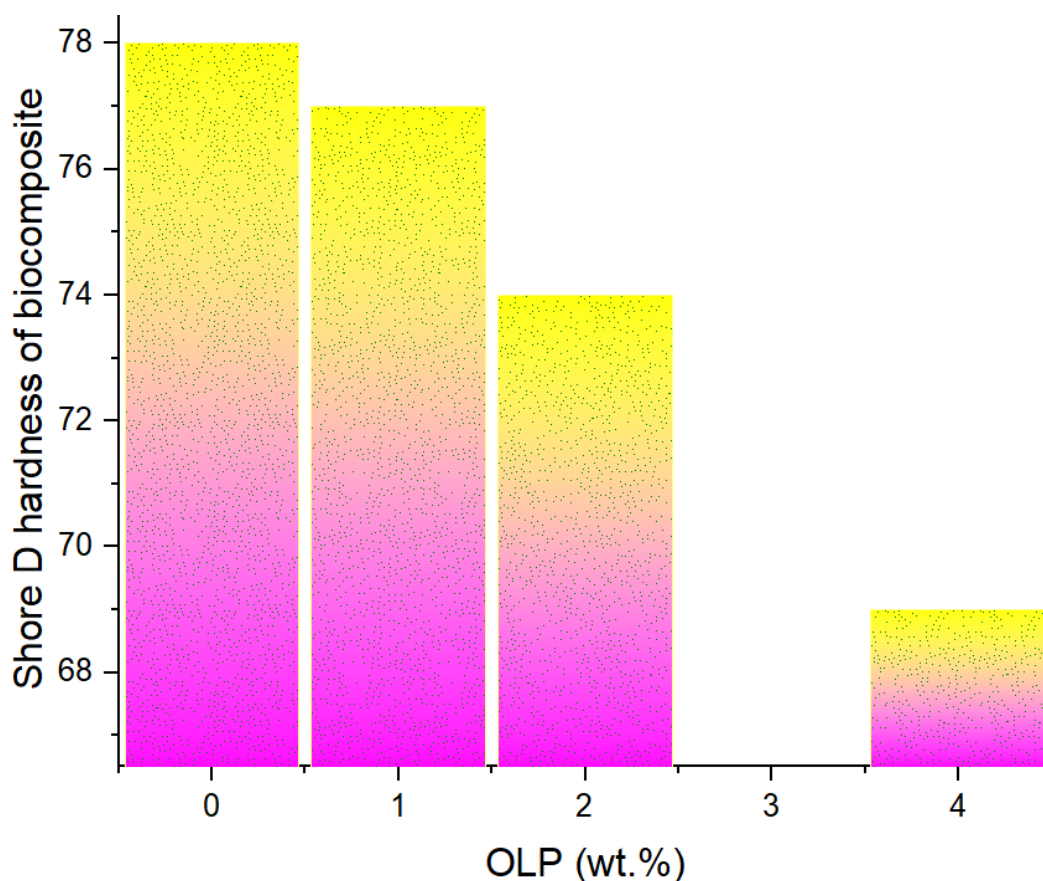


Figure 3. Effect of OLP reinforcement on the hardness of biocomposite

3.3. Dielectric Constant Results of the Biocomposites

Figure 4 presents the dielectric constant values of epoxy composites reinforced with varying weight percentages (wt.%) of OLP. The neat epoxy (0 wt.% OLP) shows a dielectric constant of 3.9, which decreases to 3.6 at 1 wt.% OLP before gradually increasing to 3.7 and 3.8 at 2 wt.% and 3 wt.% OLP, respectively. This initial reduction suggests that OLP disrupts the epoxy's inherent polarization mechanisms. Natural fibers like OLP contain insulating components such as cellulose and lignin, which may hinder dipole alignment under an electric field. Additionally, OLP's lower intrinsic dielectric constant compared to epoxy could dilute the composite's overall polarizability, leading to the observed decrease.

The subsequent rise in dielectric constant at higher OLP loadings (2-3 wt.%) indicates a partial recovery of polarization effects. This trend may result from increased interfacial interactions between the epoxy matrix and OLP particles, creating new pathways for charge accumulation. However, the values remain below the neat epoxy's baseline, suggesting that while OLP contributes to some degree of polarization, its overall effect is still limiting. The non-linear behavior could also be influenced by factors such as particle dispersion quality, moisture

absorption by natural fibers, or the formation of micro-capacitor networks within the composite [29].

These findings demonstrate that OLP reinforcement modifies the dielectric properties of epoxy composites, primarily reducing their permittivity. This characteristic could be advantageous for applications requiring materials with lower dielectric constants, such as insulating layers in electronics. However, for applications needing high permittivity, alternative fillers or OLP surface treatments might be necessary to enhance polarization. Further research should investigate frequency-dependent dielectric behavior, moisture effects, and nanoscale filler distribution to fully understand the structure-property relationships in these biocomposites.

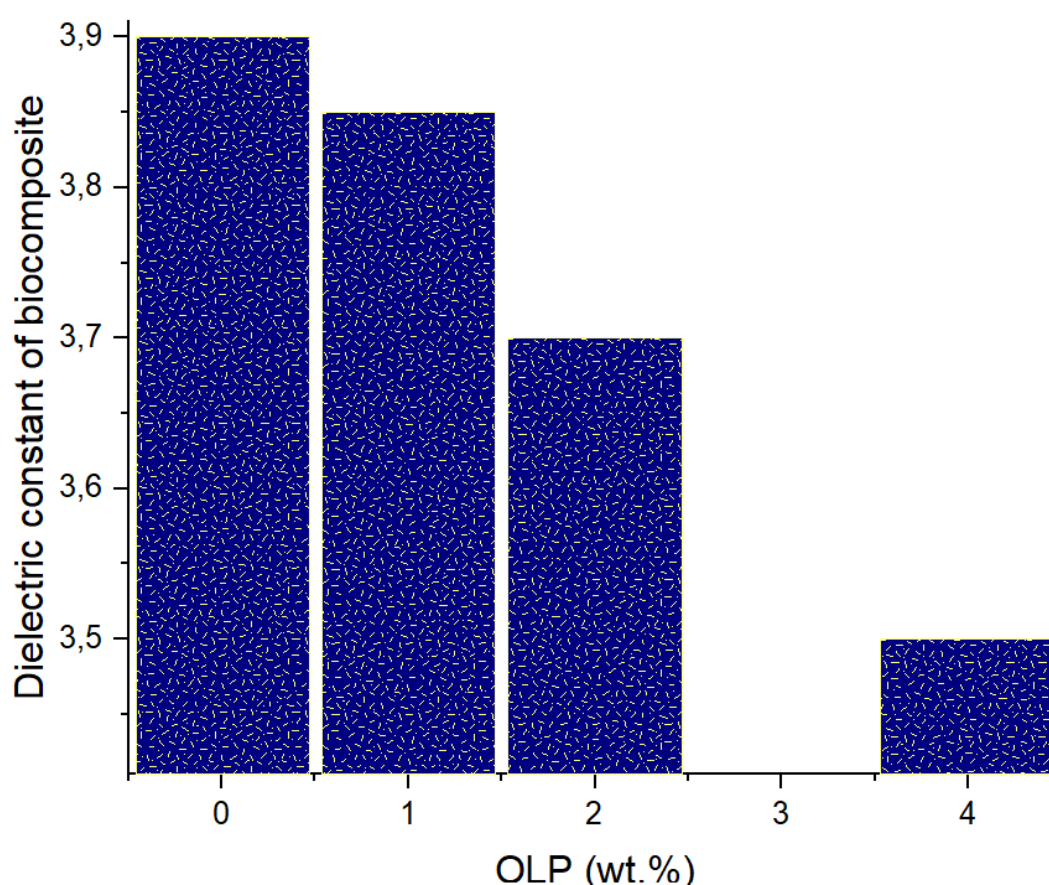


Figure 4. Effect of OLP reinforcement on the dielectric constant of biocomposite

3.4. Thermal Conductivity Results of the Biocomposites

Figure 5 shows the thermal conductivity of epoxy-based biocomposites reinforced with different weight percentages (wt%) of OLP. The thermal conductivity coefficient values range from 0.100 W/m·K to 0.112 W/m·K and show a decreasing trend as the OLP content increases. This minimal change indicates that OLP has a limited effect on the thermal conductivity of the composite in the tested range. The almost constant values indicate that OLP reduces the heat

transfer due to its low intrinsic thermal conductivity and its homogeneous distribution in the epoxy matrix. The decrease in the thermal conductivity coefficient at higher OLP reinforcements can be attributed to subtle changes in the microstructure of the composite [22]. For example, the interface contact between the OLP particles and the epoxy matrix can create porosity. The overall values remain low, reinforcing the role of OLP as a filler that provides good insulation in thermal applications. For applications requiring precise thermal management, further studies with higher OLP concentrations or hybrid fillers may be required to evaluate scalability.

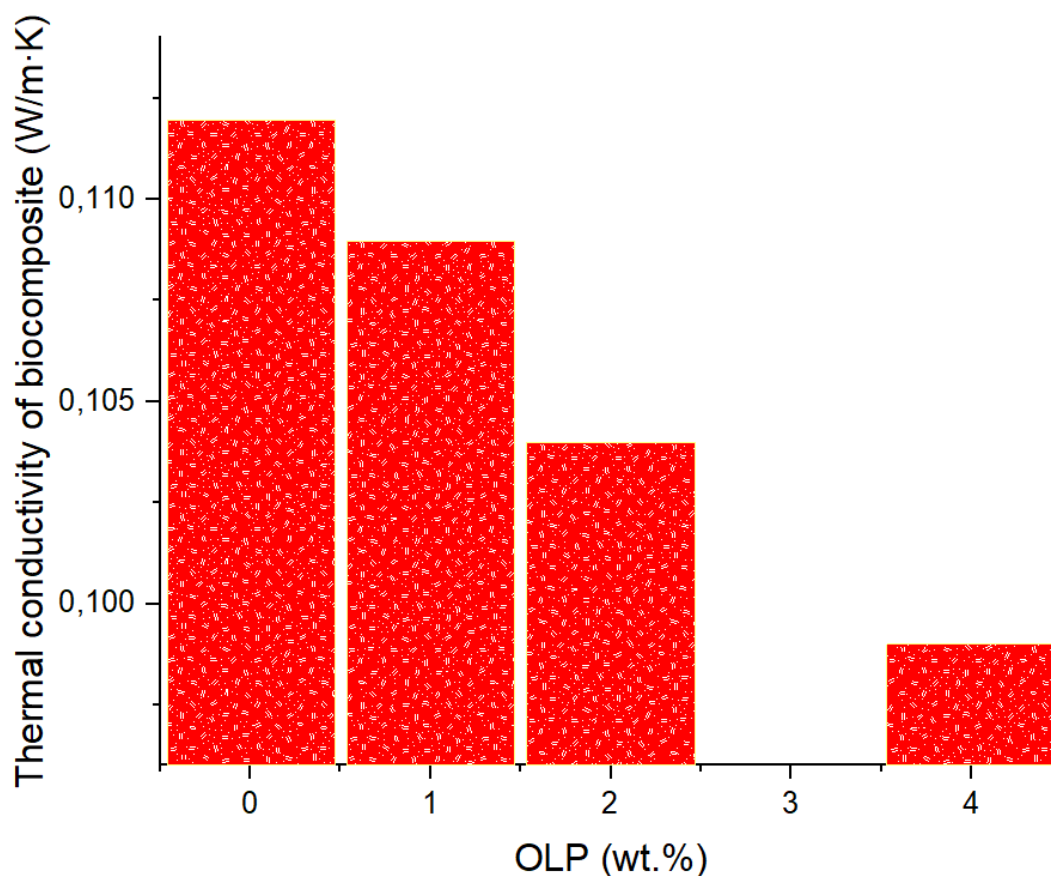


Figure 5. Effect of OLP reinforcement on the thermal conductivity of biocomposite

3.5. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) Results

The provided FTIR spectrums represent the characteristic vibrational modes of a polymer derived from pure epoxy resin (Figure 6), and OLP reinforced biocomposites (Figure 7). In the region around $3500\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$, a broad and moderate absorption band is observed, which corresponds to the O–H stretching vibrations. This is likely due to residual hydroxyl groups formed during the ring-opening of the epoxy groups and possible moisture absorption. The sharp peak near 3050 cm^{-1} can be attributed to aromatic C–H stretching vibrations, indicating the presence of aromatic structures within the epoxy resin. Additionally, the peaks observed

around $2960\text{--}2850\text{ cm}^{-1}$ are typical of aliphatic C–H stretching vibrations, stemming from methylene ($-\text{CH}_2-$) and methyl ($-\text{CH}_3$) groups in the polymer backbone.

In the fingerprint region, multiple sharp and intense bands appear, providing further insight into the polymer structure. A prominent peak near $1600\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ corresponds to aromatic C=C stretching vibrations, confirming the aromatic content of the epoxy resin. The strong absorption band around $1250\text{--}1020\text{ cm}^{-1}$ is associated with C–O–C asymmetric and symmetric stretching vibrations, characteristic of the ether linkages formed after epoxy ring opening and curing. Moreover, peaks in the $950\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ range are attributed to aromatic C–H out-of-plane bending vibrations. The complex pattern of bands between 1500 and 500 cm^{-1} reflects various bending and stretching modes associated with the aromatic and aliphatic groups of the polymer network. The FTIR spectra confirm the successful polymerization and characteristic chemical structure of the biocomposites. When the FTIR spectra seen in Figure 7 are evaluated, it is understood that the OLP and epoxy resin components do not react chemically, but interact physically [23-26].

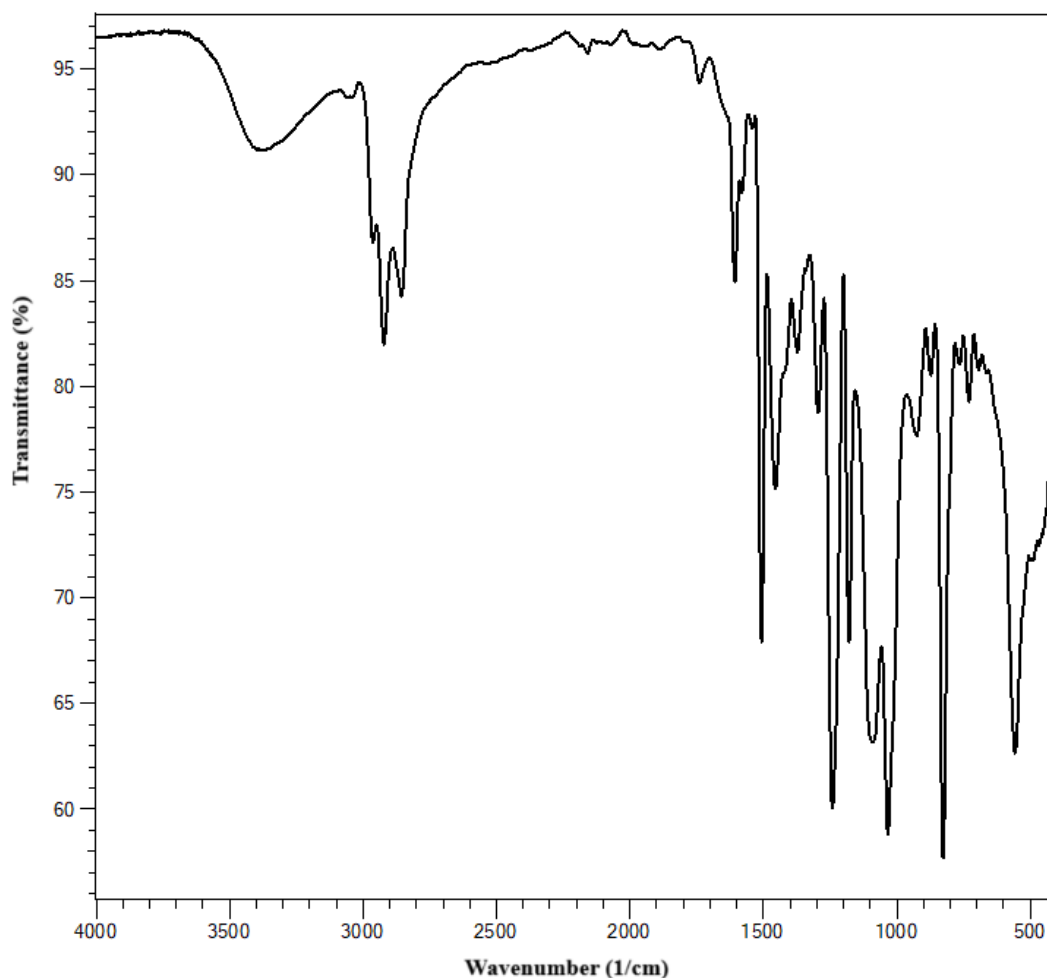


Figure 6. FTIR spectra of pure epoxy resin based polymer

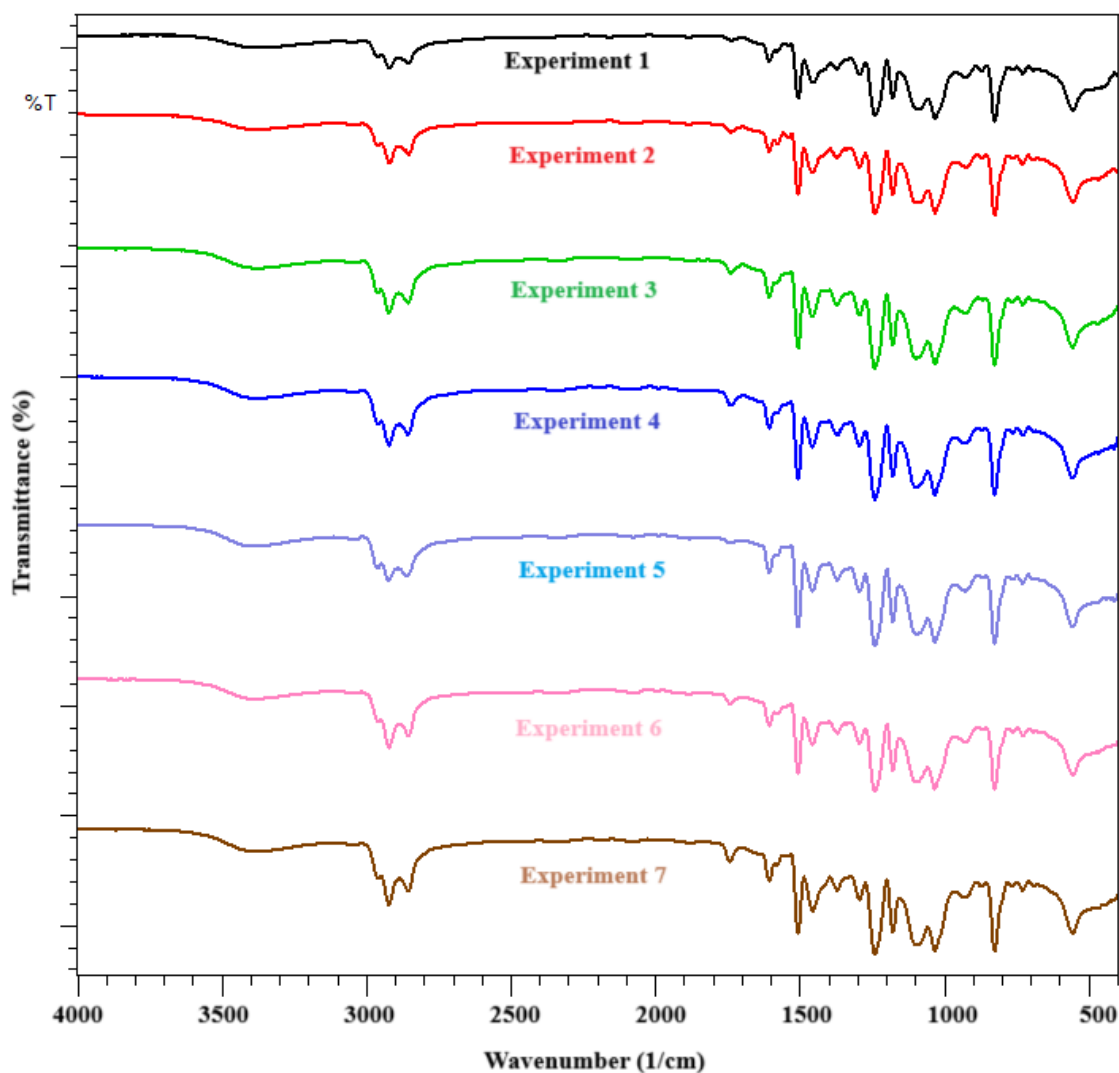


Figure 7. FTIR spectra of biocomposites produced in the experimental studies

3.6. Microscope Images of Neat and OLP Reinforced Epoxy Based Biocomposites

The first microscopic image shows the surface morphology of the pure epoxy resin composite (Figure 8). The surface appears relatively smooth and homogeneous, with minimal visual imperfections or irregularities. This uniform texture is characteristic of unreinforced epoxy materials, where no fillers are present to disturb the polymer matrix. The absence of particulate matter or phase boundaries suggests good internal cohesion and a defect-free structure, which aligns with the typically high mechanical performance and hardness values of neat epoxy resins. Figure 9 and Figure 10 show the microscope images of biocomposites with 1 wt.% and 2 wt.% OLP addition, respectively. In contrast to the pure epoxy, the surface now displays small, scattered dark particles embedded in the matrix. These features are indicative of the dispersed okra leaf powder particles. While the filler distribution appears generally uniform, some areas might still show minor agglomerations. The interaction between the matrix and the filler seems

reasonably good, though microvoids or weak interfacial bonding may begin to appear at this level, which could slightly affect the mechanical and thermal properties compared to the pure epoxy.

Figure 11 presents the microstructure of the biocomposite with 4 wt.% OLP. This surface is visibly more heterogeneous, with a higher concentration and more pronounced presence of okra leaf particles throughout the matrix. The filler appears as large greenish patches and streaks, suggesting possible agglomeration and reduced dispersion quality at higher filler loadings. The rougher and more irregular texture implies a decrease in matrix continuity and potentially more interfacial voids or weak points. These features can lead to diminished mechanical properties such as reduced hardness and strength, as also supported by experimental data. Overall, the third image reflects the structural compromise that may occur when filler content exceeds an optimal threshold [27,28].

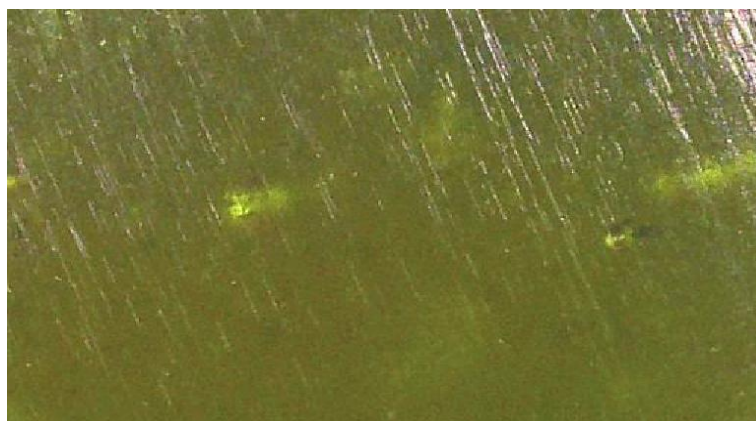


Figure 8. Microscope image of neat epoxy resin based polymer

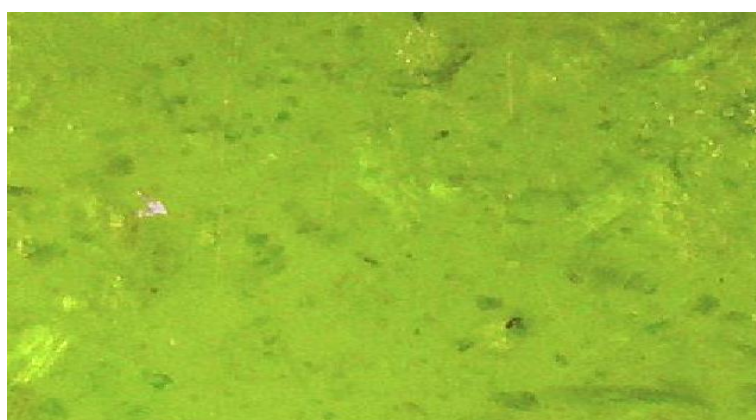


Figure 9. Microscope image of 1 wt.% OLP reinforced biocomposite

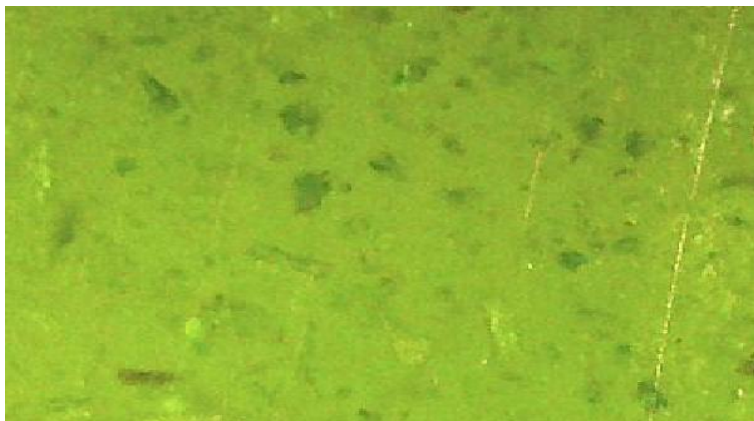


Figure 10. Microscope image of 1 wt.% OLP reinforced biocomposite

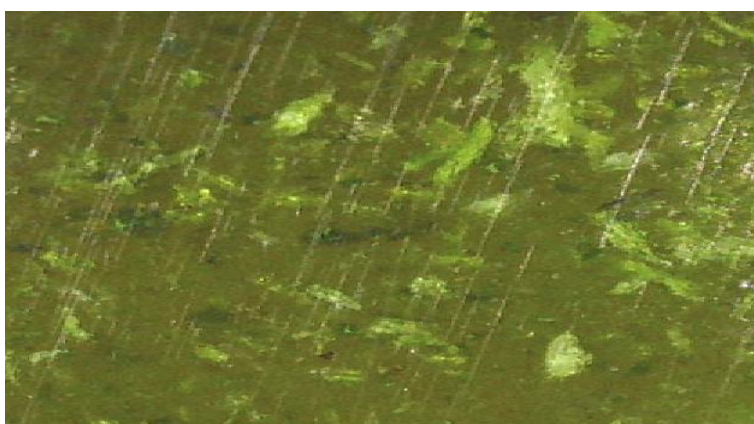


Figure 11. Microscope image of 4 wt.% OLP reinforced biocomposite

4. CONCLUSIONS

In this study, an eco-friendly epoxy-based biocomposite was successfully developed by incorporating okra leaf powder (OLP) and palm oil (PO) as natural additives. The aim was to enhance the sustainability profile of conventional epoxy materials while evaluating the effects of these bio-fillers on the physical, mechanical, thermophysical, and dielectric properties of the resulting composites. The experimental findings confirm that agricultural by-products like okra leaves, combined with biodegradable plasticizers such as palm oil, hold significant potential in the formulation of sustainable polymer composites, aligning with the global shift towards environmentally responsible materials.

The bulk density measurements revealed a clear decreasing trend with the incremental addition of OLP. Pure epoxy composites exhibited the highest density, while increasing OLP content progressively reduced this value, particularly noticeable at 2 wt.% and 4 wt.% reinforcements. This reduction is attributed to the lower intrinsic density of okra leaf powder compared to the epoxy matrix and the likely formation of microvoids due to the fibrous, organic nature of the

filler. Such a decrease in bulk density is favorable for applications where lightweight materials are essential, such as in automotive, aerospace, and portable electronic devices.

Shore D hardness tests showed that incorporating OLP into the epoxy matrix led to a gradual decrease in surface hardness. The pure epoxy composite displayed the highest hardness value, while composites containing 4 wt.% OLP recorded a significant reduction. This trend can be explained by the softer, fibrous character of the okra leaf powder and the potential weakening of interfacial bonding between the filler and the matrix at higher loadings. Although the hardness values decreased, the biocomposites maintained acceptable levels for non-structural applications, and such a reduction could even be beneficial for components requiring flexibility and impact absorption.

Dielectric property evaluations indicated that the addition of OLP to epoxy composites primarily lowered the permittivity of the material. This behavior is likely due to the lower polarizability of the plant-based filler and the possible introduction of voids and heterogeneities in the composite structure. The reduced dielectric constant could be advantageous for insulation applications in electronics, where low-permittivity materials are preferred to minimize capacitive coupling and energy loss. Future studies could focus on improving dielectric properties through surface modification of OLP or hybridization with high-permittivity nanoparticles for broader application versatility.

Thermal conductivity analyses demonstrated that the inclusion of OLP in the epoxy matrix slightly decreased the overall heat transfer capability of the biocomposites. The almost constant and low thermal conductivity values suggest that the biocomposites act as good thermal insulators, a property reinforced by the uniform distribution of low-conductivity OLP within the matrix and the creation of thermal barriers at the filler-matrix interfaces. This characteristic makes these biocomposites suitable for applications requiring thermal insulation, although additional studies at higher filler loadings or with multi-filler systems are recommended to assess scalability and optimize performance for targeted uses.

Microscopic examinations confirmed the influence of OLP content on the surface morphology of the composites. The pure epoxy matrix displayed a smooth and defect-free surface, while increasing OLP content resulted in progressively rougher and more heterogeneous surfaces, with visible particle dispersion and occasional agglomerates. These morphological changes correlate with the observed reductions in mechanical properties and bulk density, highlighting the need for optimized filler dispersion techniques to improve the overall homogeneity and interfacial adhesion in biocomposite systems.

Overall, this study demonstrated the feasibility of producing sustainable epoxy biocomposites using okra leaf powder and palm oil, contributing to the valorization of agricultural waste and the reduction of ecological footprints in polymer composite production. The results suggest that these biocomposites can be tailored for specific applications requiring lightweight, thermally insulating, and dielectric materials. However, future research should address the long-term durability, moisture sensitivity, and processing optimization of these materials to enhance their commercial viability and functional performance in diverse industrial sectors.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was carried out within the scope of Şermin DENİZ's doctoral thesis study at Fırat University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Chemical Engineering, Elazığ, Türkiye.

REFERENCES

- [1] Johansson, C., Bras, J., Mondragon, I., Nechita, P., Plackett, D., Simon, P., ... & Aucejo, S. Renewable fibers and bio-based materials for packaging applications-a review of recent developments. *BioResources*, 7(2), 2506-2552, 2012.
- [2] Carvalho, D., Ferreira, N., França, B., Marques, R., Silva, M., Silva, S., ... & Oliveira, C. (2024). Advancing sustainability in the automotive industry: Bioprepregs and fully bio-based composites. *Composites Part C: Open Access*, 100459.
- [3] Drzal, L. T., Mohanty, A. K., & Misra, M. Bio-composite materials as alternatives to petroleum-based composites for automotive applications. *Magnesium*, 40(60), 1-3, 2001.
- [4] Rajendran, S., Al-Samydai, A., Palani, G., Trilaksana, H., Sathish, T., Giri, J., ... & Nasri, F. Replacement of Petroleum Based Products with Plant-Based Materials, Green and Sustainable Energy—A Review. *Engineering Reports*, 7(4), e70108, 2025.
- [5] H. Ebrahimnezhad-Khaljiri and A. Ghadi, "Recent advancement in synthesizing bio-epoxy nanocomposites using lignin, plant oils, saccharides, polyphenols, and natural rubbers: A review," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 256, p. 128041, Jan. 2024.
- [6] P. Parvizi, M. Jalilian, and K. D. Dearn, "Epoxy Composites Reinforced with Nanomaterials and Fibres: Manufacturing, Properties, and Applications," *Polym. Test.*, p. 108761, Mar. 2025.
- [7] Y. Zhang, X. Liu, M. Wan, Y. Zhu, and K. Zhang, "From renewable biomass to bio-based epoxy monomers and bio-based epoxy curing agents: Synthesis and performance," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 229, p. 110988, Nov. 2024.

- [8] S. K. Singh, A. Yadav, S. Singh, A. Jain, and A. Kumar, “Enhancement of mechanical and viscoelastic properties of epoxy and epoxy-nano silica composites using self-healing microcapsules,” *Mater. Today Commun.*, vol. 43, p. 111741, Feb. 2025.
- [9] M. Wang et al., “The UV aging resistance of strong and ductile epoxy resin achieved by UV-induced self-compensated crosslinking points,” *Chem. Eng. J.*, p. 161661.
- [10] W. Lee, J. Cho, S. Jeong, P. C. Su, H. sun Lim, and J. Kim, “A star-shaped crystalline curing agent for thermally conductive epoxy composites: Synthesis and thermal management performance,” *Mater. Chem. Phys.*, vol. 333, p. 130334, Mar. 2025.
- [11] J. W. Cheon et al., “PES-grafted graphene core-shell filler for epoxy composites: Significant improvements of thermal and mechanical properties at ultra-low loadings,” *React. Funct. Polym.*, vol. 212, p. 106225, Jul. 2025.
- [12] F. A. M. M. Gonçalves, M. Santos, T. Cernadas, P. Ferreira, and P. Alves, “Advances in the development of biobased epoxy resins: insight into more sustainable materials and future applications,” *Int. Mater. Rev.*, vol. 67, no. 2, pp. 119–149, 2022.
- [13] N. Karak, “Overview of Epoxies and Their Thermosets,” *ACS Symp. Ser.*, vol. 1385, pp. 1–36, 2021.
- [14] B. N. Shelke, M. K. Jopale, and A. H. Kategaonkar, “Exploration of biomass waste as low cost adsorbents for removal of methylene blue dye: A review,” *Jul. 01, 2022, Elsevier B.V.*
- [15] N. Raja and S. Raju, “Optimizing the tensile strength of bismarck palm fibre and cashew friction dust particle reinforced epoxy composites,” *Mater. Today Proc.*, Jul. 2023.
- [16] A. M. Seid and S. A. Adimass, “Review on the impact behavior of natural fiber epoxy based composites,” *Heliyon*, vol. 10, no. 20, p. e39116, Oct. 2024.
- [17] Z. He, E. Tang, W. Yao, and R. Wang, “Drawing of tungsten fiber tows impregnated with Al/Epoxy matrix composites: Interfacial bonding and failure,” *Compos. Sci. Technol.*, vol. 265, p. 111140, May 2025.
- [18] S. Ramprasad, M. Venkata Ramana, and M. Manzoor Hussain, “Investigation on cotton dust-reinforced epoxy composites,” *Mater. Today Proc.*, Mar. 2023.
- [19] Aydoğmuş, E., Dağ, M., Yalçın, Z. G., & Arslanoğlu, H. Synthesis and characterization of EPS reinforced modified castor oil-based epoxy biocomposite. *Journal of Building Engineering*, 47, 103897, 2022.
- [20] Dağ, M., Aydoğmuş, E., Yalçın, Z. G., & Arslanoğlu, H. Diatomite reinforced modified safflower oil-based epoxy biocomposite production: Optimization with RSM and assessment of outcomes by ANN. *Materials Today Communications*, 35, 106327, 2023.

- [21] Şahal, H., & Aydoğmuş, E. Production and characterization of palm oil based epoxy biocomposite by RSM design. Hittite Journal of Science and Engineering, 8(4), 287-297, 2021.
- [22] Dağ, M., Yanen, C., & Aydoğmuş, E. Effect of boron factory components on thermophysical properties of epoxy composite. European Journal of Science and Technology, 36, 151-154, 2022.
- [23] Buran, A., Durğun, M. E., Aydoğmuş, E., & Arslanoğlu, H. Determination of thermophysical properties of *Ficus elastica* leaves reinforced epoxy composite. Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering, 2(1), 12-22, 2023.
- [24] Buran, A., Durğun, M. E., & Aydoğmuş, E. *Cornus alba* Reinforced Polyester-Epoxy Hybrid Composite Production and Characterization. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (43), 116-120, 2022.
- [25] Şahal, H., Aydoğmuş, E., Canpolat, E., & Kaya, M. Advanced synthesis and comprehensive characterization of nanoparticle-reinforced epoxy-based biocomposites derived from modified palm oil. Journal of Molecular Structure, 1326, 141143, 2025.
- [26] Sahal, H., & Aydogmus, E. Production and Characterization of Palm Oil Based Epoxy Biocomposite by Response Surface Methodology Design. Hittite Journal of Science & Engineering, 8(4), 2021.
- [27] Verma, A., Gaur, A., & Singh, V. K. Mechanical properties and microstructure of starch and sisal fiber biocomposite modified with epoxy resin. Materials Performance and Characterization, 6(1), 500-520, 2017.
- [28] Shibata, M., & Nakai, K. Preparation and properties of biocomposites composed of bio-based epoxy resin, tannic acid, and microfibrillated cellulose. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 48(4), 425-433, 2010.
- [29] Luo, B., Wang, X., Zhao, Q., & Li, L. Synthesis, characterization and dielectric properties of surface functionalized ferroelectric ceramic/epoxy resin composites with high dielectric permittivity. Composites Science and Technology, 112, 1-7, 2015.

MİKROALG/ALGINAT YEŞİL ADSORBAN İLE SULU ÇÖZELTİDEN MANGAN GİDERİMİ

Doç. Dr. Kadriye OKTOR

Kocaeli Üniversitesi, Çevre Müh. Böl., oktor@kocaeli.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7217-4371

Mühendis Selin Sezen KINA

Kocaeli Üniversitesi, Çevre Müh. Böl., selinsezen95@gmail.com, ORCID: 0009-0007-1337-8423

Yüksek Mühendis Güler HASIRCI

Kocaeli Üniversitesi, Kimya Müh. Böl., hasirciguler@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7435-8118

Prof. Dr. Elif İNCE

Gebze Teknik Üniversitesi, Çevre Müh. Böl., e.senturk@gtu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-0106-4677

Prof. Dr. Nilüfer Hilmioglu

Kocaeli Üniversitesi, Kimya Müh. Böl., niluferh@kocaeli.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-2627-8890

ÖZET

Günümüz dünyasında en büyük çevre sorunlarından biri olarak su kirliliği karşımıza çıkmaktadır. Evsel ve endüstriyel atık suların su ekosistemine arıtılmadan verilmesi çevrenin flora ve faunasına ciddi zarar verecektir. Aşırı nüfus artışı, küresel ısınma su kaynaklarımızı tehdit etmektedir. Dünya ortalama sıcaklıklarının artması özellikle yaz aylarında su kaynaklarında hızlı buharlaşmaya neden olmakta bu da su kıtlığını yaratmaktadır. Küresel su kıtlığı sorunuyla mücadele etmek ve su kalitesini iyileştirmek için membran filtrasyonu, kimyasal oksidasyon, elektro-pıhtılaşma, elektrokimyasal yöntem, iyon değişimi gibi farklı arıtım teknolojileri uygulanmaktadır. Bu teknolojilerin dezavantajları arasında güvenli olmayan kimyasalların kullanımı, toksik yan ürünlerin oluşması, yüksek maliyet ve zaman alıcılığı sayılabilir. Yenilikçi adsorbanların geliştirilmesinin mümkün olduğu adsorpsiyon yöntemi, diğer geleneksel yöntemlere göre maliyet etkinliği ve geliştirilmesi daha kolay bir sistem olması gibi avantajlara sahiptir. Yeşil adsorban sentezi, etkili ve ekonomik olan doğal ürün kullanımıyla yapıldığından çevre dostu bir tekniktir. Adsorpsiyonun çevresel sürdürülebilirlik değerlendirmesi ise yeşil adsorban sentezi ile mümkündür. Döngüsel ekonomi kavramı, tüketimin azaltılması, hammadde, su ve enerji tasarrufu sağlanması ile sürdürülebilir kalkınmayı hedefler. Algal biyokütlesinin kullanımı, su ve atık su arıtımını sağlayarak çevreye, biyoyakıt üreterek ekonomiye ve gıda, kozmetik, ilaç, gübre, hayvan yemi üreterek topluma fayda sağlar. Bunun yanı sıra algler sera gazı emisyonlarını azaltarak da küresel iklim sorununun çözümüne de katkı sağlayabilirler. Bu çalışmada makroalg olarak deniz yosunu alginat matrisi içine mikroalg biyokütlesi katılarak yeşil adsorbent küreleri oluşturulmuştur. Geliştirilen adsorban ile mangan giderimi gerçekleştirilmiştir

Anahtar Kelimeler: Doğal adsorbent, sentez, mikroalg, alginat, mangan giderimi

1. GİRİŞ

Su kirliliği dünyanın karşılaştığı en büyük çevre sorunlarından biridir. Arıtılmadan su ekosistemine verilen kirleticiler su kaynaklarını ciddi şekilde tehdit etmektedir [1]. Temiz su kaynaklarını korumak amacıyla çeşitli arıtım yöntemleri uygulanmaktadır. Bunların yüksek maliyet, aşırı enerji tüketimi ve ikincil kirleticiler gibi dezavantajları bulunmaktadır. Adsorpsiyon yöntemi ise düşük maliyetli, uygulaması kolay, az enerji tüketimi yönünden en çok tercih edilen yöntemdir [2,3]. Çevreci, sürdürülebilir ve döngüsel ekonomiye katkı sağlayan adsorbanlar ümit vadetmektedir. Yenilikçi ve sürdürülebilir doğası nedeniyle alg ile adsorpsiyon, klasik arıtma tekniklerinin aksine endüstriyel, tarım, madencilik atık sularının arıtımı için kullanılmaktadır.

Algler dünyada bilinen en eski fotosentetik mikroorganizmalardır. Mikroalg ve makroalg olarak ikiye ayrılan bu canlı grubunun bilinen 8000 türü bulunmaktadır. En büyük grup tek hücreli yapısı ve her yerde yetişebilme özelliğine sahip *Chlorella* türüdür [4]. Güneş enerjisini kullanarak CO₂ ve suyu, O₂, karbonhidrat ve lipitler gibi organik moleküllere dönüştürür [5].

Alg atıksu arıtımı, karbon fiksasyonu ve katma değeri yüksek ürünlerin eldesi gibi önemli özelliklere sahiptir. Özellikle atıksu arıtımının, geleneksel atıksu arıtımına göre önemli avantajları vardır. Algler atıksu arıtma teknolojilerinde ağır metallerin biyosorpsiyonu için kullanılmaktadır. Bu teknolojilerde algler doğal hammaddelerdir ve üretimleri filtre membranlarından, iyonitlerden daha ekonomiktir. Atık sudaki metalleri uzaklaştırmak için biyosorpsiyon, farklı kuru biyokütle türleri kullanılarak uygulanabilir. Mikroalg hücreleri, hücrelerinde Hg, Cd, Zn, Au, Ag, Co, Mn, Cs, Ni, Fe, Cu ve Cr biriktirebilme yetenekleri nedeniyle ağır metal giderimi için kullanılma potansiyeline sahiptir [6].

Alg biyokütlesi sulardaki kirleticileri uzaklaştırmak için oldukça etkili bir adsorbandır. Ancak, alglerin kimyasal bileşiklere bağlanma yeteneği, küçük boyut, düşük özgül ağırlık gibi çeşitli kısıtlamalar nedeniyle sınırlıdır ve diğer mikroorganizmalar tarafından bozunması nedeniyle kolayca zarar görebilir. Bu zayıflıkların üstesinden gelmek için destekleyici malzemeler kullanılarak alg biyokütlesinin hareketsizleştirilmesi gereklidir [7].

Alginat, bir makroalg olan kahverengi deniz yosunundan elde edilen doğal bir anyonik polimerdir ve biyoyoumluluğu, düşük toksisitesi, düşük maliyeti ve iki değerlikli katyonların eklenmesiyle hafif jelleşme yeteneğiyle kompozit adsorban sentezinde kullanılmaktadır [8,9].

Doğada mangan (Mn), topraklarda, kayalarda ve minerallerde doğal olarak ortaya çıkan bir metaldir. Yeraltı sularında mangan konsantrasyonu genellikle yüzey sularında ölçülenlerden daha yüksektir. Endüstride mangan, başlıca demir çelik sektöründe, ferro mangan üretiminde, alüminyum alaşımlarında, gübre, cam, boya, kuru pil, seramik üretimi, petrokimya ve elektronik sektöründe kullanım alanı bulmaktadır. Bu durum hem yüzey suları hem de içme suyu açısından önemli bir sorun teşkil etmektedir [10].

Manganın toksik etkilerini azaltmak, güvenli bir içme suyu temini sağlamak için çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik mangan giderme teknikleri geliştirilmiştir. Oksidasyon, membran filtreleme, adsorpsiyon gibi arıtma yöntemleri yüksek mangan konsantrasyonunu gidermek için kullanılmaktadır [11].

Bu çalışmada yeşil adsorban sentezi olarak aljinat matrisi içine mikroalg katkı maddesi ilave edilmiş elde edilen yeşil adsorban ile Mangan giderimi araştırılmıştır. Döngüsel ekonomiye katkı açısından atıksu arıtımından elde edilen biyokütle yeşil adsorban olarak sentezlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1.1. Mikroalg Kültürünün Hazırlanması

Çalışmada yeşil bir mikroalg türü olan *Chlorella protothecoides* kültürü kullanılmıştır. Kocaeli Üniversitesi Kimya Mühendisliği bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarı'ndan temin edilen mikroalg Blue-Green (BG-11) besin ortamında büyütülmüştür. Bu kültür ortamı 1000 ml çeşme suyu, NaNO_3 (1.5 g/L), KH_2PO_4 (0.04 g/L), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0.075 g/L), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.036 g/L), H_3BO_3 (0.0029 g/L), Na_2CO_3 (0.02 g/L), ferric citrate (0.006 g/L), citric acid (0.006 g/L), vitamin karışımı (0.02 g/L) ve agar (15 g) kullanılarak hazırlanmıştır [11]. Bir hafta sonra, kültür ortamında yetiştirilen mikroalg Görsel 1'de görüldüğü gibi 24 saat aydınlatılmış ve hava kompresörleri ile hava verilmiştir.



Görsel 1. *Chlorella protothecoides* Kültür Ortamı

2.1.2. Mikroalg ile Kentsel Atıksu Arıtımı ve Biyokütle Elde Edilmesi

Bu çalışmada kentsel atıksu arıtma tesisi giriş kısmından alınan ham atıksu kullanılmıştır. Atıksu içerisindeki askıda katı maddeleri gidermek için 4000 rpm 10 dk santrifüj cihazından geçirilmiştir. Daha sonra 500 ml hacimde farklı seyreltme oranlarına sahip numuneler hazırlanmıştır. Her bir numuneye hacminin %10'u kadar mikroalg kültür ortamından ekim yapılmıştır. İki hafta süren bu çalışmada *Chlorella protothecoides* mikroalg türünün kentsel atıksuyu arıtabilir yeteneği gözlenmiştir.

Sonlandırılan deney sonrasında atıksuda oluşan biyokütleyi elde etmek için ilk olarak numuneler filtre kağıdından geçirilerek süzme işlemi uygulandı. Ardından etüvde 60°C’de 2 saat kurutma işlemi gerçekleştirildi. Sonuç olarak yaklaşık 2,3 g mikroalgal kuru biyokütle elde edildi.



Görsel 2. Elde edilen mikroalgal kuru biyokütle

2.1.3. Mikroalg Biyokütlesi ile Adsorban Küreler Elde Edilmesi

Adsorban küreler elde etmek için öncelikle 100 ml suda 2 g sodyum alginat çözeltisi hazırlamak için 400 rpm 2 saat çalkalayıcıya çözdürmek üzere bırakıldı. Hazırlanan çözeltinin içerisine atıksudan elde ettiğimiz mikroalgal kuru biyokütleden 1 g eklendi ve homojen olana kadar karıştırıldı. Ardından homojen mikroalg/aljinat karışımı 0.1 M CaCl_2 (500 ml) üzerine damlatıldı. Damlatma işleminin ardından elde edilen küreler pH nötr olana dek saf su ile yıkandı ve ortam sıcaklığında kurutuldu. Kuruyan biyokütleler deneyde kullanılmak üzere cam şişeye aktarıldı.



Görsel 3. Elde edilen adsorban küreler (solda) ve kuru adsorban küreler (sağda)

2.1.4. Mikroalg/Alginat Adsorban Küreleri ile Mangan Giderimi

Toplam üç deney seti yapıldı ve her set eş zamanlı yapıldı. Adsorpsiyon deneyleri 90, 100 ve 110 mg/L mangan konsantrasyonlarında gerçekleştirildi. Deney setlerinde kullanılmak üzere 1000 ml'lik stok çözelti hazırlandı. Her bir konsantrasyonda 40, 120 ve 200 mg mikroalg/alginat adsorban küreleri kullanıldı. Numuneler 250 rpm hızdaki çalkalayıcıya alındı. Her 30., 75., ve 120. dk da numunelerden örnekler alındı ve mangan giderim analizleri kit ile yapıldı. Sonuçlar 510 nm dalga boyunda spektrofotometre cihazında okundu.



Görsel 4. Deney için hazırlanan numuneler (solda) ve mangan analiz kiti ile hazırlanan numuneler (sağda)

Adsorpsiyon giderim verimliliği Denklem 1 [2] ile belirlenir.

$$\text{Giderme verimliliği (\%)}: (C_0 - C) \times 100 / C_0 \quad (1)$$

C_0 = Adsorpsiyondan önce ölçülen başlangıç konsantrasyonları

C = Adsorpsiyondan sonra ölçülen denge konsantrasyonlarıdır.

Adsorpsiyon kapasitesi, adsorplanan mangan miktarı (mg/g) Denklem 2'ye göre hesaplanmıştır [3].

$$q_e = ((C_0 - C_e) / m) \times V \quad (2)$$

C_0 ve C_e deneyden önce ve sonra ölçülen konsantrasyonlardır (mg/L)

V = Mangan çözeltisinin hacmi (L)

m = Adsorban miktarı (g)

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Elde edilen alginat/alg adsorban küreleri, hazırlanan 90, 100, 110 mg/L mangan konsantrasyonunda ve her konsantrasyona 40, 120, 200 mg adsorban kullanılmıştır, 30., 75. ve 120. dakikalar da numunelerden örnekler alındı ve mangan giderim analizleri kit ile yapılmıştır. Giderim verimi ve adsorpsiyon kapasitesi hesaplanmıştır. Sonuçlar Çizelge1., Çizelge 2., Çizelge 3., Çizelge 4., Çizelge 5. ve Çizelge 6. da verilmiştir.

1.DENEY SETİ

Çizelge 1. 90 mg/L Konsantrasyon Giderim Verimi, %

Adsorban Miktarı (mg)	90 mg/L Konsantrasyon Giderim Verimi, %			
Başlangıç Mn Konsantrasyonu (mg/L)	t ₀ : 0.dk	t ₁ : 30.dk	t ₂ : 75.dk	t ₃ : 120.dk
40 mg	-	%23	%26	%22,6
120 mg	-	%29,6	%27,7	%26,4
200 mg	-	%22,2	%31	%26,5

Çizelge 2. 90 mg/L Konsantrasyonda Adsorpsiyon Kapasitesi, q, mg/g

Adsorban Miktarı (mg)	90 mg/L Konsantrasyon q: Adsorpsiyon Kapasitesi, mg/g			
Başlangıç Mn Konsantrasyonu (mg/L)	t ₀ : 0.dk	t ₁ : 30.dk	t ₂ : 75.dk	t ₃ : 120.dk
40 mg	-	10,35	11,7	10,2
120 mg	-	4,45	3,9	3,96
200 mg	-	2	2,79	2,39

2.DENEY SETİ:

Çizelge 3. 100 mg/L Konsantrasyon Giderim Verimi, %

Adsorban Miktarı (mg)	100 mg/L Konsantrasyon Giderim Verimi, %			
Başlangıç Mn Konsantrasyonu (mg/L)	t ₀ : 0.dk	t ₁ : 30.dk	t ₂ : 75.dk	t ₃ : 120.dk
40 mg	-	%32,5	%31	%34,3
120 mg	-	%40,9	%37,3	%33,8
200 mg	-	%42	%28,8	%34,4

Çizelge 4. 100 mg/L Konsantrasyonda Adsorpsiyon Kapasitesi, q, mg/g

Adsorban Miktarı (mg)	100 mg/L Konsantrasyon q: Adsorpsiyon Kapasitesi, mg/g			
Başlangıç Mn Konsantrasyonu (mg/L)	t ₀ : 0.dk	t ₁ : 30.dk	t ₂ : 75.dk	t ₃ : 120.dk
40 mg	-	16,25	15,5	17,15
120 mg	-	6,8	6,2	5,6
200 mg	-	4,2	2,88	3,44

3.DENEY SETİ:

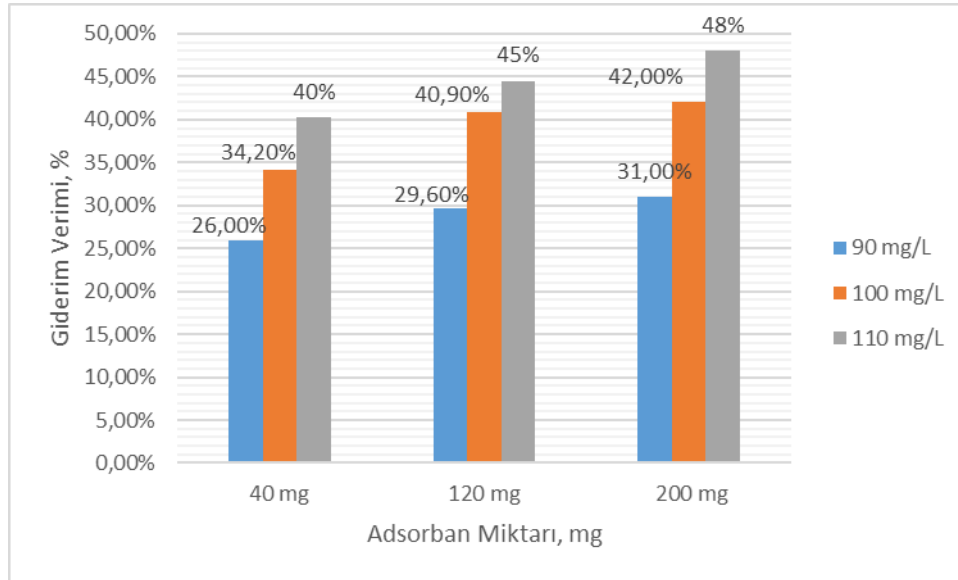
Çizelge 5. 110 mg/L Konsantrasyon Giderim Verimi, %

Adsorban Miktarı (mg)	110 mg/L Konsantrasyon Giderim Verimi, %			
Başlangıç Mn Konsantrasyonu (mg/L)	t ₀ : 0.dk	t ₁ : 30.dk	t ₂ : 75.dk	t ₃ : 120.dk
40 mg	-	%31,5	%40,2	%34
120 mg	-	%35,2	%44,5	%41,8
200 mg	-	%44	%41,7	%48

Çizelge 6. 110 mg/L Konsantrasyonda Adsorpsiyon Kapasitesi, q, mg/g

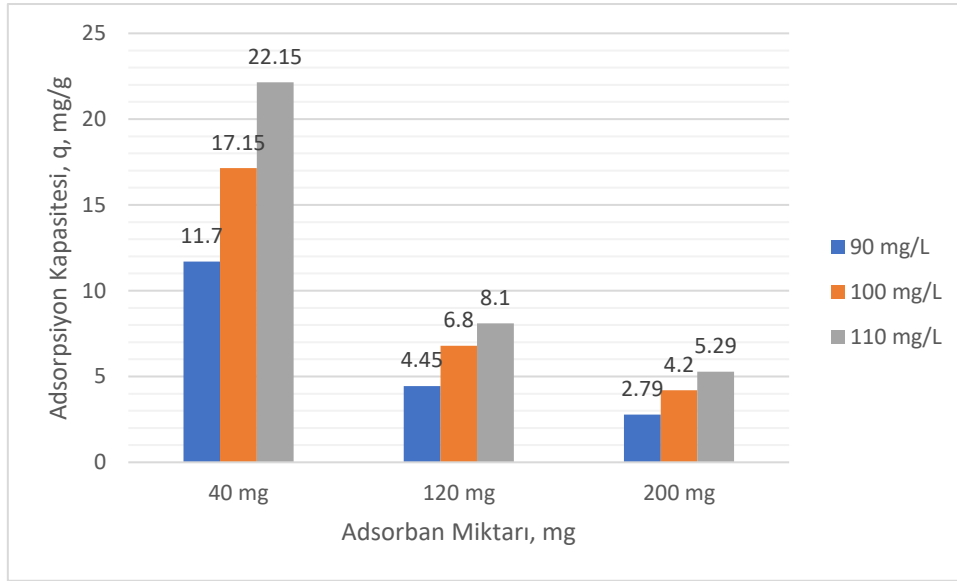
Adsorban Miktarı (mg)	110 mg/L Konsantrasyon q: Adsorpsiyon Kapasitesi, mg/g			
Başlangıç Mn Konsantrasyonu (mg/L)	t ₀ : 0.dk	t ₁ : 30.dk	t ₂ : 75.dk	t ₃ : 120.dk
40 mg	-	17,35	22,15	18,7
120 mg	-	6,4	8,1	7,6
200 mg	-	4,85	4,59	5,29

Bu çalışma sonucunda en yüksek giderim verimi 110 mg/L konsantrasyonda 200 mg adsorban kullanımında 120. dakikada ki verim hesapları yapılarak Görsel.6 da verilmiştir.



Görsel 6. Giderim Verimi Grafiği

Çalışma sonucunda en yüksek giderim verimliliği %48 ile 110 mg/L konsantrasyonda 200 mg adsorban kullanımında elde edilmiştir.



Görsel 7. Adsorpsiyon Kapasitesi

4. SONUÇLAR

- Adsorban miktarı artışı ile giderim yüzdesi artmıştır.
- Başlangıç mangan konsantrasyonu artışı ile giderim yüzdesi artmıştır. Bu da hazırlanan adsorbanların adsorptif merkez sayısının fazla olduğunu göstermiştir.
- Ayrıca zaman artınca giderim de artacaktır.
- Yeşil adsorban sentezi, etkili ve ekonomik olan doğal ürün kullanımıyla yapıldığından çevre dostu bir tekniktir.

.KAYNAKÇA

- [1] Bibi, S., Bibi, A., Mullungal, M. N., Abu-Dieyeh, M., AlGhouti, M. A., Macroalgae As An Eco-Friendly And Successful Green Technology For The Removal Of Crystal Violet From Synthetic And Real Wastewater. Arabian Journal Of Chemistry, 16, 105191, 1-20, 2023.
- [2] Oktor, K., Hilmioğlu, N., Removal Of Ammonium From Aqueous Solutions by Adsorption Processes Using Environment Friendly Natural Biopolymer Chitosan, Fresenius Environmental Bulletin, vol.30, no.2A, pp.1970-1976, 2021.
- [3] Oktor, K., Yuzer, N.Y., Hasirci, G., Hilmioğlu, N., Optimization of Removal of Phosphate from Water by Adsorption Using Biopolymer Chitosan Beads, Water, Air, and Soil Pollution, vol.234, no.4. 2023.
- [4] Oktor, K., Mikroalglerin Çevre Teknolojilerindeki Yeri, Çevre bilim ve Teknoloji, 330-343, 2018.

- [5] Kutluk, T. Farklı *Chlorella* Türlerinin Biyodizel ve Atıksu Arıtımında Kullanılmak Üzere Üretimi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2019.
- [6] Zabochnicka, M., Krzywonos, M., Romanowska-Duda, Z., Szufa, S., Darkalt, A., Mubashar, M., Algal Biomass Utilization toward Circular Economy, *Life*, 12, 1480, 1-18, 2022.
- [7] Suharso, B., Aditiya, I., Al Kausar, R., Rinawati, S., Production of a *Spirulina* sp. algae hybrid with a silica matrix as an effective adsorbent to absorb crystal violet and methylene blue in a solution, *Sustainable Environment Research*, 29:27, 1-11, 2019.
- [8] Lee K.Y., Mooney, D.J., Alginate: Properties and Biomedical Applications, *Progress in Polymer Science*, Volume 37, Issue 1, Pages 106-126, 2012.
- [9] Chen, Z., Osman, A.I., Rooney, D.W., Oh, W., Yap, P., Remediation of Heavy Metals in Polluted Water by Immobilized Algae: Current Applications and Future Perspectives, *Sustainability*, 15, 5128,1-23, 2023.
- [10] Zakeri, M.Ş., Yeraltı Sularından Demir ve Mangan Gideriminde Kullanılan Oksidantların Etkinliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2019.
- [11] Dutta, D., Borah, J.P., Puzari, A., Adsorption of Mn^{2+} from Aqueous Solution Using Manganese Oxide-Coated Hollow Polymethylmethacrylate Microspheres (MHPM), *Adsorption Science & Technology*, Article ID 5597299, 10 pages, 2021.
- [12] Oktor, K., Çelik, D. Treatment of wash basin bathroom greywater with *Chlorella variabilis* and reusability, *Journal of Water Process Engineering*, 31, 100857, 2019.

FUSARIUM FUNGI PATHOGENS: IDENTIFICATION, IMPACT ON PLANT HEALTH, AND THE ADOPTION OF INNOVATIVE TECHNOLOGICAL STRATEGIES FOR DISEASE MANAGEMENT AND SUSTAINABLE AGRICULTURE

PhD student: Nedaa M.M. Tanina (1)

Gaziantep University, neda.tanina1987@gmail.com- <https://orcid.org/0009-0006-8555-2999>

Assist. Prof. Dr. Feyza N. KAFADAR (2)

Gaziantep University, incik@gantep.edu.tr- <https://orcid.org/0000-0003-3544-2979>

Prof. Canan Can (2)

Gaziantep University, ayselcan1938@gmail.com - <https://orcid.org/0000-0002-0473-1914>

Abstract:

Over the past several centuries, *Fusarium* pathogens have been documented for the first time and continue to garner considerable attention from researchers around the world. This interest is largely attributed to their pathogenic effects on various plant species, their capacity for mycotoxin production, and the resulting introduction of harmful metabolites into the food supply. The accelerating impact of climate change is causing shifts in pathogen populations globally, highlighting the necessity for continuous research to understand the factors affecting virulence and disease severity. Furthermore, there is an urgent need to effectively implement technological strategies to improve control measures and promote sustainable agricultural practices.

Plant parts from infected plants were typically utilized for the isolation and identification of the fungal species responsible for the infection, employing colony characterization and microscopic morphology analysis. Furthermore, final confirmation of the pathogens could be achieved through PCR amplification and sequencing, using primers specific to fungi and *Fusarium* species.

The heavy reliance on chemical control for managing *Fusarium* diseases in food crops is increasingly questionable due to the development of resistance within pathogen populations and the associated environmental impacts. Thus, improving our understanding of the complex dynamics of host-microbe interactions that contribute to disease, along with the application of targeted technologies, can enhance our ability to manage *Fusarium* diseases effectively. This review examines the identification and pathogenicity of *Fusarium* species and addresses future challenges in implementing various technological management strategies for these diseases to maintain sustainable agriculture.

Key words: *Fusarium* species, Technological Management, Agricultural sustainability

1. Introduction :

Significant research has been undertaken on epidemics and plant disease control methods. The genus *Fusarium*, which encompasses approximately 400 recognized species, has garnered particular attention. Research has focused on analyzing the mechanisms of pathogenic evolution and differentiation among *Fusarium* species utilizing molecular, genetic, and genomic techniques (Nelson et al., 1994; Yan and Dickman, 1996; Summerell et al., 2003; Gasser et al., 2023).

The *Fusarium* genus is classified within the phylum Ascomycota, class Sordariomycetes, order Hypocreales, and family Nectriaceae (Moretti, 2009; Arie T., 2019). Notable species categorized as plant-pathogenic include *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. fujikuroi*, and *F. graminearum*. Species of *Fusarium* can be found in nature functioning as endophytes, saprophytes, or pathogens (Abdul Karim et al., 2016). A key characteristic of all *Fusarium* species is their production of macroconidia with a distinctive morphology.

Many *Fusarium* species are regarded as weak pathogens and tend to infect plants that are wounded or experiencing stress. On the other hand, this genus can cause various serious diseases, including vascular wilt, root rot, foot and stem rot, leaf lesions, fruit rot, head blight in cereals, and post-harvest decay, resulting in reduced yield and financial losses.

According to estimates from the United Nations, the global population is projected to exceed 10 billion by the mid-21st century. To meet the increased demand for food resulting from this growth, a reduction of over 70% in production inefficiencies is necessary (Prosekov & Ivanova, 2018). Ensuring food security for a large population presents considerable challenges, as agricultural production systems must adapt to various obstacles (Tubiello et al., 2007).

Food security involves ensuring reliable access to healthy and nutritious foods as part of daily diets. Without the implementation of sustainable practices and the adoption of innovative technological strategies, there is a risk of significant environmental impacts, including stagnation in food supply growth (Eitelberg et al., 2015). Sustainability is a comprehensive concept within agriculture that emphasizes the importance of managing plant and animal systems responsibly (Stafford-Smith et al., 2017).

Sustainable agriculture plays a crucial role in addressing global food security by providing key solutions. It strives to integrate modern technologies and sustainable production practices to support stable and resilient global food systems.

2. *Fusarium* Species Identification

2.1 Morphology:

The identification of *Fusarium* reproductive and vegetative structures is frequently assisted by examining their cultural and morphological characteristics on various growth media.

Commonly used media for morphological characterization include Synthetic Nutrient Agar (SNA), Potato Sucrose Agar (PSA), Potato Dextrose Agar (PDA), Carnation Leaf-piece Agar (CLA), yeast extract agar (YEA), Sabouraud's Dextrose Agar (SDA), Oatmeal Agar (OMA), and Potassium Chloride Agar (KCL). (Leslie and Summerell, 2006; Shobana C. S. et al., 2011; Cambaza E, 2018; Tanina N. et al., 2024).

Variations in mycelial pigmentation were observed among different *Fusarium* species across various media types. Since pigmentation is a characteristic aspect of mold development, it can serve as a useful parameter for growth studies, providing an alternative to measuring Colony expansion in size.

For instance, in PDA and PSA media, *F. oxysporum* consistently exhibited pale purple to purple pigmentation. In contrast, *F. proliferatum* demonstrated a range of pigmentation variations, from pale orange to purple, on the same media (Lombard et al., 2019; Khan et al., 2021).

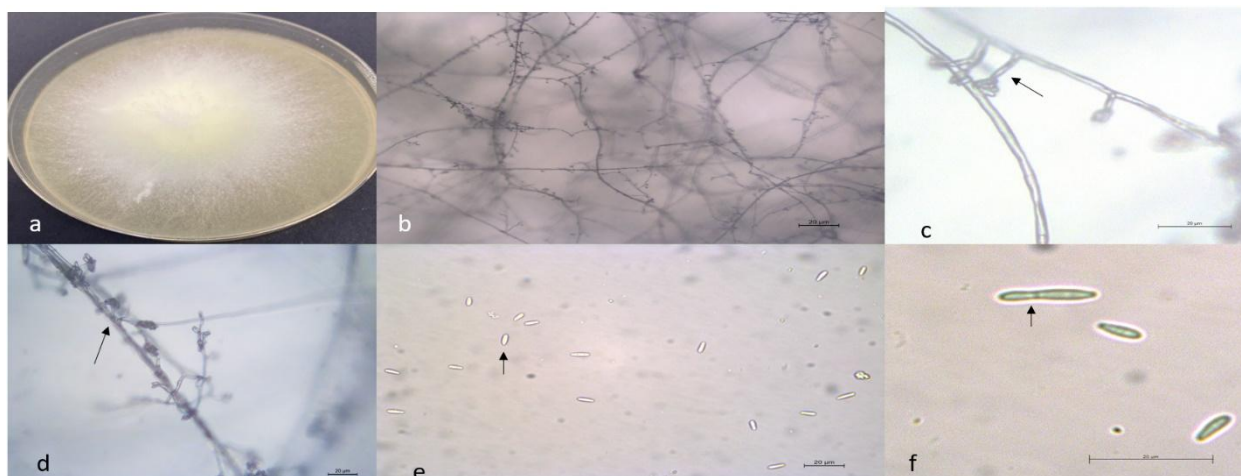


Figure 1: *F. proliferatum* Morphology on PSA a) morphology on SNA c) mono-phialids d) poly-phialids e) microconidia f) Macroconidia

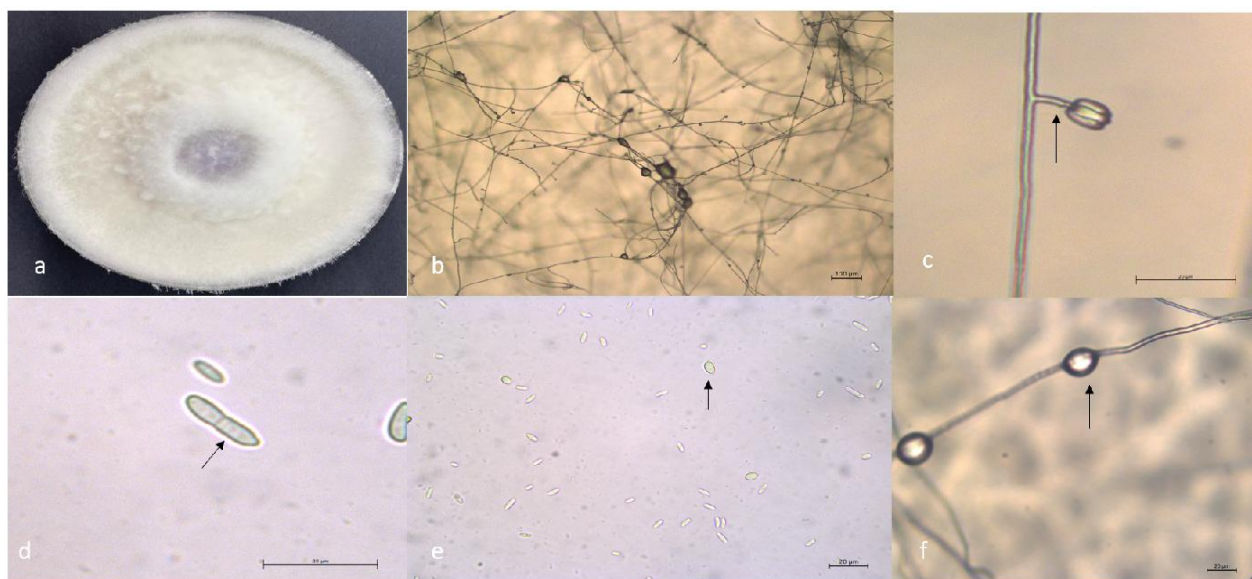


Figure 2: *F. oxysporum* a) Morphology on PSA b) Morphology on SNA c) Mono-phialids d) macroconidia e) Microconidia f) Chlamydospores

Another example *F. graminearum* colonies cultured on YEA display a consistent and predictable pattern of color change. Observations show that the mold initially germinates as pale mycelium and gradually develops a yellowish coloration (Cambaza E, 2018). Additionally, SNA medium was utilized to facilitate further identification and to assist in the examination of microconidia, macroconidia, conidiogenous cells, mono-phialides, and poly-phialides (kee et al., 2020).



Figure 3: Surface color changes of *F. graminearum* over time (Cambaza E, 2018).

The identification of *Fusarium* species primarily relies on morphological characteristics. However, due to the significant influence of environmental factors on *Fusarium* morphology, the classification framework has undergone substantial revisions. Additionally, many *Fusarium* species exhibit highly similar morphological features, complicating their differentiation. With advancements in molecular biology, it is now common practice to

perform phylogenetic analyses using genetic markers to accurately determine the taxonomic placement of *Fusarium* species.

2.2 Molecular Identification

The current state of DNA sequence-based identification of *Fusarium* involves utilizing web-accessible databases and marker loci for precise identification. three web-accessible resources for DNA sequence-based identification of *Fusarium*: FUSARIUM-ID, Fusarium MLST, and NCBI GenBank. These databases contain well-characterized phylogenetically informative sequences that can be utilized for identifying unknown isolates.

Marker loci, such as translation elongation factor 1- α , DNA-directed RNA polymerase II largest and second-largest subunit, are commonly used for the sequence-based identification of *Fusarium*. Furthermore, phylogenetic relationship studies employing internal transcribed spacer (ITS) regions 1 and 2, along with a segment of the intergenic spacer (IGS) region from the rDNA cluster, contribute to a better understanding of species relationships (Skovgaard et al., 2001; Yli-Mattila et al., 2004; Achari et al., 2020).

However, species limits and evolutionary relationships within some important *Fusarium* lineages are not entirely resolved, especially within the most recently evolved clades. It's suggested that next-generation sequencing and metagenomics studies will play a crucial role in the discovery and identification of novel *Fusarium* species (Donnell et al., 2015; Lombard et al., 2019).

Several molecular techniques, including random amplified polymorphic DNA (RAPD), restriction fragment length polymorphism (RFLP), simple sequence repeat (SSR), sequence characterized amplified regions, internal transcribed spacer (ITS)-RFLP, and amplified fragment length polymorphism (AFLP), have been developed to analyze the genetic composition of *Fusarium* species isolates. Notably, some isolates may display diverse genetic profiles, while others exhibit more uniform genetic characteristics, despite significant differences in their pathogenicity (Altinok and Can, 2010; Kashyap et al., 2016; Nosratabadi et al., 2018; Pramunadipita et al., 2022).

Additionally, advancements in molecular techniques have enabled the characterization of several genes involved in *Fusarium* spore germination, infection processes, colonization, and pathogenicity. The genomes of pathogenic *Fusarium* species contain a greater number of proteins within pathogenicity-related protein families compared to non-pathogenic fungi. These proteins are critical to the pathogenicity of these species when compared to their non-pathogenic counterparts (Okungbowa F. I. and H. O. Shittu H.O. 2012).

Moreover, the roles of various genes functioning as virulence factors have been identified. Studies utilizing targeted gene disruption through homologous recombination and gene knockout experiments suggest that certain transcription factors, chitin synthase V, the developmental regulators, phospho-mannose isomerase, and chitinases may contribute to the pathogenic process.

3. Impact on plant health :

Currently, approximately 80% of plant diseases are attributed to fungal pathogens. *Fusarium* wilt is a soil-borne fungal disease characterized by the obstruction of water-conducting vessels (xylem), leading to wilting and often resulting in plant mortality. This condition is caused by pathogenic species from various species of *Fusarium*, including *F. eumartii*, *F. oxysporum*, *F. avenaceum*, *F. solani*, *F. sulphureum*, and *F. tabacinum* etc.

Certain pathogenic species can remain in the soil for extended periods, and their frequent association with plant roots, either as parasites or saprophytes, contributes to their role as plant pathogens. Consequently, these fungi hold significant economic importance because of the various diseases they can induce in crops. Notable diseases include crown rot, head blight, and scab, which affect cereal grains, as well as vascular wilts in a variety of crops such as tomatoes, cucurbits, and bananas. they are responsible for root rots, cankers, and other related diseases. (Booth, 1971). Complete eradication of *Fusarium* from large production fields is highly challenging. However, implementing preventative measures, engaging in early detection, and containing infected soil and plant material can help manage the disease and mitigate its spread.

Members of the *Allium* genus, including onions and garlic, are also susceptible to *Fusarium* pathogens. This vulnerability can result in various diseases, including bulb rot, clove rot, vascular wilt, and crown and root wilt, leading to substantial economic losses in crop production. (Chretien et al., 2020).

Many other crops, including cucumber, squash, lettuce, eggplant, pepper, tomato, cantaloupe, watermelon, and beans, are susceptible to *Fusarium* diseases. Generally, infected plants exhibit symptoms such as yellowing leaves that eventually drop off. The affected plants may also experience wilting over several days before ultimately succumbing to the disease. Tobacco *Fusarium* diseases exhibit symptoms characterized by irregular brown spots on tobacco leaves, often featuring a whitish center and typically surrounded by a yellow halo (wang et al., 2022)

Other diseases, such as Verticillium wilt, exhibit symptoms similar to those of *Fusarium* diseases. Both are soil-borne crop diseases that impact the vascular tissue. It is important to differentiate between them; *Fusarium* tends to thrive in warmer soil conditions, specifically at temperatures around 80°F (27°C) and lower moisture levels. Conversely, Verticillium wilt is more prevalent in cooler soil environments, typically ranging from 55 to 75°F (13 to 24°C), where moisture levels are comparatively higher.



Figure 4: Fusarium diseases in several plants: a) Garlic b) Cotton c) Banana d) Tomato e) Cucumber f) Eggplant

Multiple field surveys have documented shifts in *Fusarium* pathogen populations over time, which are associated with increased yield losses due to the emergence of more aggressive and toxigenic isolates. Additionally, changes in the mycotoxin profiles present in grain have been observed, correlating with the introduction of isolates exhibiting varying mycotoxin characteristics (Theo van der Lee et al., 2015). Climate change is expected to intensify the severity of *Fusarium* epidemics (Zhang et al., 2014), and global warming is likely to foster conditions conducive to further shifts in pathogen populations in the future (Theo van der Lee et al., 2015). Consequently, proactive surveillance is crucial for the early detection of potential changes in pathogen populations.

4. The adoption of Innovative Technological Strategies for Disease Management and Sustainable Agriculture

Sustainability, as a multidisciplinary concept, in agriculture refers to farming practices that are environmentally responsible, economically viable, and socially equitable. This approach aims to meet society's current food needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs. Implementing Good Agricultural Practices within the agriculture sector is essential for ensuring a dependable and sufficient food supply. These practices encompass both food safety and agricultural productivity (Baran et al., 2022).

Food is fundamental to human survival and forms the basis of proper nutrition. However, rapid population growth, which is expected to be 10 billion by 2050, presents significant challenges to food safety, security, and ethical farming practices (Barrett & Lentz, 2010; Chesnaye et al., 2024). Additionally, the quality and yield of crops are influenced by factors such as climate, topography, and soil properties. Critical considerations include nutrient availability, soil types, soil health, pest resistance, and the availability and quality of irrigation, all of which affect the adaptability and overall quality of specific crops (Khan et al., 2021).

Fusarium species produce mycotoxins, which can lead to product spoilage and food safety concerns, particularly in cereal grains and products derived from cereals. These mycotoxins can enter the human food supply through contamination during crop cultivation and food processing.

The current challenges underscore the complexities associated with ensuring sufficient and safely managed food production in a sustainable manner. To clarify, fungicides are chemical agents used to inhibit or prevent the growth of *Fusarium* and other fungi. In agricultural practices, fungicides are typically applied through spraying or dusting methods. Notably, fungicides such as Azoxystrobin, Prothioconazole, and Thiophanate-methyl have demonstrated significant effectiveness in reducing the impact of *Fusarium*-related diseases. However, it is essential to carefully monitor and maintain sub-lethal dosages. Research indicates a direct relationship between increased fungicide application rates and elevated toxin production (Cendoya et al., 2021). Furthermore, the use of chemical fungicides can significantly disturb soil stability, contribute to water pollution, reduce biodiversity, and lead to a decline in available arable land.

Furthermore, utilizing living microorganisms to manage plant diseases has been implemented. Research efforts have concentrated on developing biocontrol strategies for *Fusarium*-associated diseases, such as soilborne *Fusarium oxysporum* infections and rice "Bakanae" disease caused by *Fusarium fujikuroi*. Additionally, In 2002, a non-pathogenic strain of *Fusarium oxysporum* was registered as a biofungicide for the management of soilborne wilt in sweet potato crops caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. batatas (Anisimova et al., 2022). While in 2003, *Trichoderma atroviride* was officially approved as a biocontrol agent for the management of various rot-related diseases (Arie T., 2019).

Recently, traditional approaches have been modified and integrated with advanced technologies to overcome their respective limitations. Sustainability needs to utilize renewable natural resources in farming practices, which have consistently maintained their relevance. The integration of environmental considerations and innovation is crucial for these agricultural systems that prioritize biodiversity preservation. Notably, the establishment of multidisciplinary collaborative networks to adapt to evolving technologies fosters progress in numerous related fields.

The implementation of various wireless sensors is driving innovative advancements in crop improvement. These sensors can be utilized to address traditional agricultural challenges, including disease management, efficient irrigation, cultural practices, and drought response. Specifically, they enable the monitoring of soil characteristics such as water-holding capacity, moisture content, and both chemical and physical properties (Khan et al., 2021).

Soil temperature influences the progression of *Fusarium* diseases. Some *Fusarium* infections typically occur when soil temperatures range from 15°C to 32°C, with optimal conditions for disease development between 25°C and 28°C. *Fusarium* species, the pathogens responsible for these diseases, cause minimal damage at temperatures below 15°C (Kolander et al., 2012; Marburger et al., 2015). Additionally, implementing sanitization at 50°C for one minute can significantly reduce conidia viability (Palmero et al., 2013).

Some *Fusarium* species produce sexual spores, such as ascospores, which serve as important primary inoculum sources. These species can also generate three types of asexual spores (mitotic), including macroconidia, chlamydospores, and microconidia. Spore production is primarily influenced by endogenous and environmental factors, such as carbon and nitrogen availability, calcium signaling, pH levels, and light conditions (Ajmal et al., 2023).

Monitoring these factors using specialized sensor technology may aid in reducing disease progression.

Additionally, Bioremediation is a method that employs microorganisms to address pollutants found in soil, water, and other environments (Huda et al., 2021). As one of the innovative remediation strategies designed to tackle the challenges of industrial agriculture, BR is highly esteemed in the context of sustainable agricultural practices (Altieri et al., 2017; Tomich et al., 2011). It is recognized as one of the most impactful approaches for environmental restoration (Adams et al., 2015). This process involves the utilization of microorganisms, such as bacteria, fungi, algae, and protozoans, to decompose organic matter in contaminated settings (Mandal & Das, 2021; Rizwan et al., 2014). These microorganisms are widely applied in genetic engineering and various molecular biology techniques to break down pollutants and alleviate the effects of toxic chemical agents (Enamala et al., 2019). Numerous studies have demonstrated that the use of microbial cells or inoculum in bioremediation yields positive outcomes (Labana et al., 2005; Santos et al., 2003). Additionally, it has been noted that the survival and activity of microorganisms, particularly bacteria, in natural environments can significantly improve the effectiveness of sustainable bioremediation initiatives.

Additionally, the innovative nature of smart agricultural systems offers significant potential for transformative changes within the agriculture-food sector. Nonetheless, the current lack of empirical data on the relationship between the agricultural supply chain and smart agricultural systems underscores the necessity for further investigation. It is crucial to employ appropriate methods to achieve sustainability in this field (Sharma et al., 2022).

The integration of information and communication technology in agriculture is a vital sector that has sustained livelihoods from ancient times to the present and signals the onset of a new revolution. Today's advancements in technology are facilitating numerous digital transformation methods in farming, including the use of autonomous robotic vehicles, mechanical sorting systems, precision fertilizer applications, and automated fruit harvesting (Walter et al., 2017).

5. Conclusion:

Fusarium is among the most detrimental plant pathogens, responsible for causing many diseases in various crops. Accurate pathogen identification is essential for effective disease management. Several strategies have been developed to curb the spread of *Fusarium*, including the use of various control agents and chemicals; however, many of these approaches have limitations.. The adoption of advanced technological approaches can further enhance the effectiveness of disease control efforts.

References:

- Abdul Karim N.F., Mohd M., Mohd Nor N.M.I, Zakaria L., (2016). Saprophytic and Potentially Pathogenic *Fusarium* Species from Peat Soil in Perak and Pahang. Trop Life Sci Res. Feb;27(1):1-20.
- Achari S.R., Kaur J., Dinh Q., Mann R., Sawbridge T., Summerell B.A., Edwards J., (2020). Phylogenetic relationship between Australian *Fusarium oxysporum* isolates and resolving the species complex using the multispecies coalescent model. BMC Genomics, Mar 20;21(1):248.
- Adams, G. O., Fufeyin, P. T., Okoro, S. E., & Ehinomen, I. (2015). Bioremediation, biostimulation, and bioaugmentation: A review. International Journal of Environmental Bioremediation Biodegradation, 3(1), 28–39.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., & Montalba, R. (2017). Technological approaches to sustainable agriculture at a crossroads: An agroecological perspective. Sustainability., 9(3), 349.
- Altınok H. H., & Can C., (2010). Characterization of *Fusarium oxysporum* f. sp. Melongenae isolates from eggplant in Turkey by pathogenicity, VCG and RAPD analysis. Phytoparasitica 38:149–157.
- Ajmal, M., Hussain, A., Ali, A., Chen, H., & Lin, H. (2023). Strategies for Controlling the Sporulation in *Fusarium* spp. Journal of Fungi, 9(1), 10.
- Anisimova O. K., Kochieva E. Z., Shchennikova A. V., and Filyushin M. A. Thaumatin-like Protein (TLP) Genes in Garlic (*Allium sativum* L.): Genome-Wide Identification, Characterization, and Expression in Response to *Fusarium proliferatum* Infection. Plants, 11, 748, 2022.
- Arie T., (2019). *Fusarium* diseases of cultivated plants, control, diagnosis, and molecular and genetic studies. J. Pestic. Sci. 44(4), 275–281.
- Baran A. (2022). Using of nano-biosensors in determination of food safety and quality. Nano-Era 2(2), 30-36.
- Barrett, C., & Lentz, E. (2018). Food Insecurity. Oxford Research Encyclopedia of International Studies.
- Booth, C. (1971) The Genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, 237.
- Cambaza E. (2018). Comprehensive Description of *Fusarium graminearum* pigments and Related Compounds. Foods 2018, 7, 165.
- Cendoya E., Nichea M. J., Monge M.D.P., Zachetti V.G.L., Chiacchiera S.M., Ramirez M.L. Effect of fungicides commonly used for *Fusarium* head blight management on growth and fumonisin production by *Fusarium proliferatum*, Revista Argentina de Microbiología, Volume 53, Issue 1, Pages 64-74, 2021.

- Chauhan, R., Yadav, H. O., & Sehrawat, N. (2020). Nanobioremediation: A new and a versatile tool for sustainable environmental clean up-overview. *Journal of Materials Environmental Sciences*. 11(4), 564–573.
- Chesnaye, N.C., Ortiz, A., Zoccali, C. *et al.* The impact of population ageing on the burden of chronic kidney disease. *Nat Rev Nephrol* **20**, 569–585 (2024).
- Chretien, P.L., Laurent, S., Bornard, I., Troulet, C., El-maataoul, M., Leyronas, Ch.,(2020). Unraveling the infection process of garlic by *Fusarium proliferatum*, the causal agent of root rot. Vol. 59 No.2.
- Chretien P.L., Morris C. E., Duffaud M., Leyronas Ch., (2021). Etiology of garlic rot, an emerging disease in France. *Plant Pathology*, 2021, 70 (6), pp.1276-1291.
- Coelho, N., Gonçalves, S., & Romano, A. (2020). Endemic plant species conservation: Biotechnological approaches. *Plants*, 9(3), 345
- Eitelberg D., Vliet J., and Peter H. Verburg (2015). A review of global potentially available cropland estimates and their consequences for model-based assessments. John Wiley & Sons Ltd, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/gcb.12733.
- Enamala, M. K., Sruthi, P. D., Sarkar, S., Chavali, M., Vasavi, I., & Kuppam, C. (2019). Nano-bioremediation: A novel and sustainable biological advancement for ecological cleanup. In P. R. Rauta, Y. K.
- Doohan F.M., Brennan J.M., Cooke B.M., (2003). Influence of Climatic Factors on *Fusarium* Species Pathogenic to Cereals. *European Journal of Plant Pathology* 109(7):755-768
- Donnell K.O., Ward T.J., Robert V.A.R.G., Crous P.W., David M. Geiser D.M., Kang S., (2015) DNA sequence-based identification of *Fusarium*: Current status and future directions. *Phytoparasitica*. 43:583–595
- Gasser K., Sulyok M., Spangl B., Krska R., Steinkellner S., Hage-Ahmed K., (2023). *Fusarium proliferatum* secondary metabolite profile in vitro depends on the origin of the isolates and is clearly reduced in stored garlic. *Postharvest Biology and Technology* 200. 112312
- Huda, N., Khanom, A., Mizanur-Rahman, M., Huq, A., Rahman, M., & Banu, N. A. (2021). Biochemical process and functional genes of arsenic accumulation in bioremediation: Agricultural soil. *International Journal of Environmental Science and Technology*.
- Kashyap, P., Rai, Sh., Kumar, S., Srivastava, A.,. Genetic diversity, mating types and phylogenetic analysis of Indian races of *Fusarium oxysporum* f. sp. ciceris from chickpea (2016). *Archives of Phytopathology and Plant Protection* 49(19-20).
- Kee Y.J., Zakaria L., Mohd M. H., (2020). Morphology, phylogeny and pathogenicity of *Fusarium* species from *Sansevieria trifasciata* in Malaysia. *Plant Pathology*. 2020;69:442–454.

- Khan M.A., Sajid Aleem Khan A.A., Waheed U., Raheel M., Khan Z., Alrefaei A.F., Alkhamis H.H., (2021). Morphological and genetic characterization of *Fusarium oxysporum* and its management using weed extracts in cotton. *Journal of King Saud University – Science* 33 101299.
- Khan, N., Ray, R. L., Sargani, G. R., Ihtisham, M., Khayyam, M., & Ismail, S. (2021). Current Progress and Future Prospects of Agriculture Technology: Gateway to Sustainable Agriculture. *Sustainability*, 13(9), 4883.
- Kolander T.M., Bienapfl J.C., Kurle J.E., Malvick D.K.,(2012). Symptomatic and Asymptomatic Host Range of *Fusarium virguliforme*, the Causal Agent of Soybean Sudden Death Syndrome. *Plant Disease / Vol. 96 No. 8*
- Labana, S., Singh, O. V., Basu, A., Pandey, G., & Jain, R. K. (2005). A microcosm study on bioremediation of p-nitrophenol-contaminated soil using *Arthrobacter protophormiae* RKJ100. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 68(3), 417–424.
- Leslie, J.F. and Summerell, B.A. (2006) *The Fusarium Laboratory Manual*. Blackwell Publishing, Hoboken, 1-2.
- Lombard, L.; Sandoval-Denis, M.; Lamprecht, S. C.; Crous, P.W. (2019). Epitypification of *Fusarium oxysporum* – clearing the taxonomic chaos *Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*. Persoonia - Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi. Volume 43, pp. 1-47(47)
- Mandal, S. K., & Das, N. (2021). Application of microbial fuel cells for the bioremediation of environmental pollutants: An overview. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 7(4).
- Marburger D. A., Venkateshwaran M., Conley Sh. P., Esker P. D., Lauer J. G., and Michel Ané- J. (2015). Crop Rotation and Management Effect on *Fusarium* spp. Populations. *Crop Sci.* 55:365–376.
- [Miedaner](#) T. (2006). Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases. *Plant breeding*. [Volume 116, Issue 3](#)
- Mohanta, & D. Nayak (Eds.), *Nanotechnology in Biology and Medicine* (pp. 245–257).
- Moretti, A.N. (2009). Taxonomy of *Fusarium* Genus, a Continuous Fight between Lumpers and Splitters. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 7-13.
- Nelson P.E., Dignan M.C., Anaissie E.J., (1994). Taxonomy, Biology, and Clinical Aspects of *Fusarium* Species. *Clinical microbiology reviews*. OCT. 1994, p. 479-504
- Nosratabadi M., Kachuei R., Rezaie S., Harchegani A.B.,(2018). Beta-tubulin gene in the differentiation of *Fusarium* species by PCR-RFLP analysis. *Le Infezioni in Medicina*, n. 1, 52-60
- Okungbowa, F., & Shittu, H., (2014). *Fusarium* Wilt: An Overview. *Environmental Research Journal*. Volume 6, Number 2. 1935-3049.
- Palmero D., Cara M. D., Nosir W., Galvez L., Cruz A., Woodward S., Gonzalez-jaen M. T., and Tello C., (2013). *Fusarium proliferatum* isolated from garlic in Spain: identification, toxigenic

potential, and pathogenicity on related *Allium* species. *Phytopathologia Mediterranea* 51, 1, 207-218.

Pramunadipta S., Widiastuti A., Wibowo A., Suga H., (2022). Identification and pathogenicity of *Fusarium* spp. associated with the sheath rot disease of rice (*Oryza sativa*) in Indonesia. *Journal of Plant Pathology* 104(1):251–267

Prosekov, A.Y. and Ivanova, S.A. (2018) Food Security: The Challenge of the Present. *Geoforum*, 91, 73-77.

Rizwan, M., Singh, M., Mitra, C. K., & Morve, R. K. (2014). Ecofriendly application of nanomaterials: Nanobioremediation. *Journal of Nanoparticles*. 1–7.

Santos, V. L., Heilbuth, N. M., Braga, D. T., Monteiro, A. S., & Linardi, V. R. (2003). Phenol degradation by a *Graphium* sp. FIB4 isolated from industrial effluents. *Journal of Basic Microbiology: An International Journal on Biochemistry, Physiology, Genetics, Morphology, and Ecology of Microorganisms.*, 43(3), 238–248.

Sharma, I. (2020). Bioremediation techniques for polluted environment: Concept, advantages, limitations, and prospects. In M. A. Murillo-Tovar, H. Saldarriaga-Norena, & A. Saeid (Eds.), *Trace metals in the environment-new approaches and recent advances*. IntechOpen.

Shobana CS, Panneerselvam K., Manikandan P., Brinda M., Anitha I., Amsaveni P., Lakkumi Ak., Venmal, Galgóczy L., Rajendran R., (2011). A Study on the Cultural Characteristics of *Fusarium* spp., Causing Mycotic Keratitis in South India. *IUP Journal of Life Sciences*. Volume 5.

Skovgaard K., Nirenberg H., O'Donnel K., Rosendahl S., (2001). Evolution of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* Races Inferred from Multigene Genealogies. *Phytopathology* Dec;91(12):1231-7.

Stafford-Smith, M., Griggs, D., Gaffney, O. *et al.* Integration: the key to implementing the Sustainable Development Goals. *Sustain Sci* 12, 911–919 (2017).

Summerell B.A., Salleh B., Leslie J.F., (2003). A Utilitarian Approach to *Fusarium* Identification. *Plant Diseases*. Feb;87(2):117-128.

Tanina, Nedaa & Can, Canan & NUR, KAFADAR. (2024). *Fusarium* Diseases of Garlic: Symptoms and Pathogen Identification. Nedaa M.M. Tanina, Feyza N. KAFADAR, Canan Can...

Tomich, T. P., Brodt, S., Ferris, H., Galt, R., Horwath, W. R., Kebreab, E., Leveau, J. H. J., Liptzin, D., Lubell, M., Merel, P., Michelsmore, R., Rosenstock, T., Scow, K., Six, J., Williams, N., & Yang, L. (2011). Agroecology: a review from a global-change perspective. *Annual Review of Environment and Resources*, 36, 193–222.

Theo van der Lee, Hao Zhang, Anne van Diepeningen & Cees Waalwijk (2015) Biogeography of *Fusarium graminearum* species complex and chemotypes: a review, *Food Additives & Contaminants: Part A*, 32:4, 453-460

- Tubiello, F.N., J.-F. Soussana, S.M. Howden, and W. Easterling, 2007: Crop and pasture response to climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 104, 19686-19690
- Walter, A., Finger, R., Huber, R., & Buchmann, N. (2017). Opinion: Smart farming is key to developing sustainable agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences.*, 114(24), 6148–6150.
- Wang H, Li Y, Li W, Cai L, Meng J, Xia G, Yin J, Liu X. Morphological and Molecular Identification of *Fusarium ipomoeae* as the Causative Agent of Leaf Spot Disease in Tobacco from China. *Microorganisms*. 2022 Sep 22;10(10):1890.
- Yan K., Dickman M.B., (1996). Isolation of a beta-tubulin gene from *Fusarium moniliforme* that confers cold-sensitive benomyl resistance. *Applied and Environmental Microbiology* Vol. 62, No. 8
- Yli-Mattila T., Machb R. L., Alekhina L. A., Bulat S. A., Koskinen B., Kullnig-Gradinger C. M., Kubicek C.P., Klemsdal S. S., (2004). Phylogenetic relationship of *Fusarium langsethiae* to *Fusarium poae* and *Fusarium sporotrichioides* inferred by IGS, ITS, B -tubulin sequences and UP-PCR hybridization analysis. *International Journal of Food Microbiology* 95, 267 – 285
- Zhang H., Luo W., Pan Y., Xu J., Xu J.S., Chen W.Q., Feng J., (2018). First Report of *Fusarium* Ear Rot of Maize Caused by *Fusarium andiyazi* in China. *APS online publications*. Vol. 98, No. 10

COMPARISON OF EVOLUTIONS OF INTERNAL EROSION IN HOMOGENEOUS EARTH-FILL DAMS BUILT WITH MEDIUM SAND-CLAY MIXTURE WHEN THE SEEPAGE IS AT BOTTOM OR AT MIDDLE PART OF THE DAM

**Professor Mehmet Sukru GUNEY¹, Graduate Research Assistant Emre DUMLU²,
Research Assistant Merve OKAN³, Student Yiğit KALYONCU⁴**

¹ İzmir University of Economics, sukru.guney@ieu.edu.tr,

<https://orcid.org/0000-0003-1441-4784>

² The University of Mississippi, emre@ncche.olemiss.edu,

<https://orcid.org/0000-0003-4311-3040>

³ İzmir University of Economics, merve.okan@ieu.edu.tr,

<https://orcid.org/0000-0001-6095-2992>

⁴ İzmir University of Economics, yigit.k@std.izmirekonomi.edu.tr,

<https://orcid.org/0000-0002-5955-963X>

ABSTRACT

One of the most significant reasons for earth-fill dam failures is internal erosion resulting from piping. This research was carried out as a part of the project 119M609 supported financially by the Scientific and Technological Research Council of Turkey. This paper involves experimental investigations with two different scenarios to look into the breach process and provide the data for more realistic numerical evaluations. The location of the weak layer was at bottom or at middle part, along the centerline. The experiments were conducted at Hydraulics Laboratory of Civil Engineering Department within İzmir University of Economics. The homogeneous earth-fill dams having a bottom width of 2 m were built in a flume 1.00 m wide, 0.81 m high and 5.44 m long. Some common soil mechanics tests were also carried out before the dam was built. The dam bodies were constructed by using a mixture of 15 % clay and 85 % medium sand. High-precision cameras were used to record the temporal development of the breach resulting from the piping. The pump flow rate was measured by a magnetic flowmeter and the flow rate values outgoing from the breach were determined from the continuity equation. Gauss area formula was used to obtain the time-varied values of the breach areas. The temporal changes of water depth in the channel were also recorded. The so obtained experimental findings are presented and commented.

Keywords: Earth-fill dam; Homogeneous dam; Piping; Internal erosion; Breach development; Discharge from breach.

1. INTRODUCTION

Piping is a significant issue for earth-fill dam failures. In earthen constructions, especially in earth levees and dams, soil erosion may originate through the foundation, the embankment, or from the embankment to the foundation. Phases of this type of erosion include: a) initiation and continuation of erosion, b) progression to form a pipe and c) formation of a breach [1]. When investigating the failure of an embankment dam experimentally and numerically, the evolution of the breach caused by the piping is a crucial factor. In the literature, there have been many researches on dam failures, particularly those caused by overtopping, but there have not been as many studies on dam failures caused by piping because it is difficult to investigate erosion and conduct controlled experiments [2]–[4]. A two-dimensional depth-averaged (2DH) numerical model was used by Greco et al. (2008) [3] to simulate the development of a breach in an earth-fill dam. According to Chen et al. (2019) [2], 3541 dam breach accidents occurred between 1954 and 2018, and more than 30% of them resulted from piping. Sharif et al. (2015) [4] built dams with varied compaction rates in a laboratory flume, and then used image processing technique to assess depth, area, and volume change due to erosion during the piping progress. Numerous researchers who do numerical studies make simple assumptions about properties of breach and water flow through it. According to Morris et al. (2008) [5] more realistic techniques are needed regarding the breach mechanism, as well as the breach shape and flow through the breach.

In the scope of the project 119M609, supported financially by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK), it is aimed to carry out the piping experiments on homogeneous earth fill dams and also earthen dams with clay core. These experiments were performed with different scenarios according to the dam type and the location of the weak zone. Some of the experimental findings were presented in different scientific meetings [6]–[9]. In addition to these submitted papers, two master theses were also prepared and submitted [10], [11].

This paper involves the experimental results concerning the evolution of dam failure due to the seepage in the case of four scenarios corresponding to the dam bodies constructed with medium sand-clay mixture having $D_{50} = 0.30$ mm. The objective of this research is to conduct experiments to investigate the development of dam failure resulted from the seepage in homogenous earth-fill dams to provide insights into the breach mechanism and data to the relevant researchers who deal with numerical analyses and emergency action plans.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

The dam was constructed in a rectangular flume 1.00 m wide, 0.81 m high, and 5.44 m long (Figure 1). The bottom of the flume consists of sheet metal whereas its sides are made of tempered glass for the purpose of obtaining good records from the cameras located at different locations. The lower channel serves as water supplying container. The part of the upper channel which is at the upstream of the dam represents the dam reservoir. The dams were designed and constructed with side slopes of 1 vertical to 1.5 horizontal. A pump equipped with a check-valve and regulating valve was used to provide water circulation in the closed system.

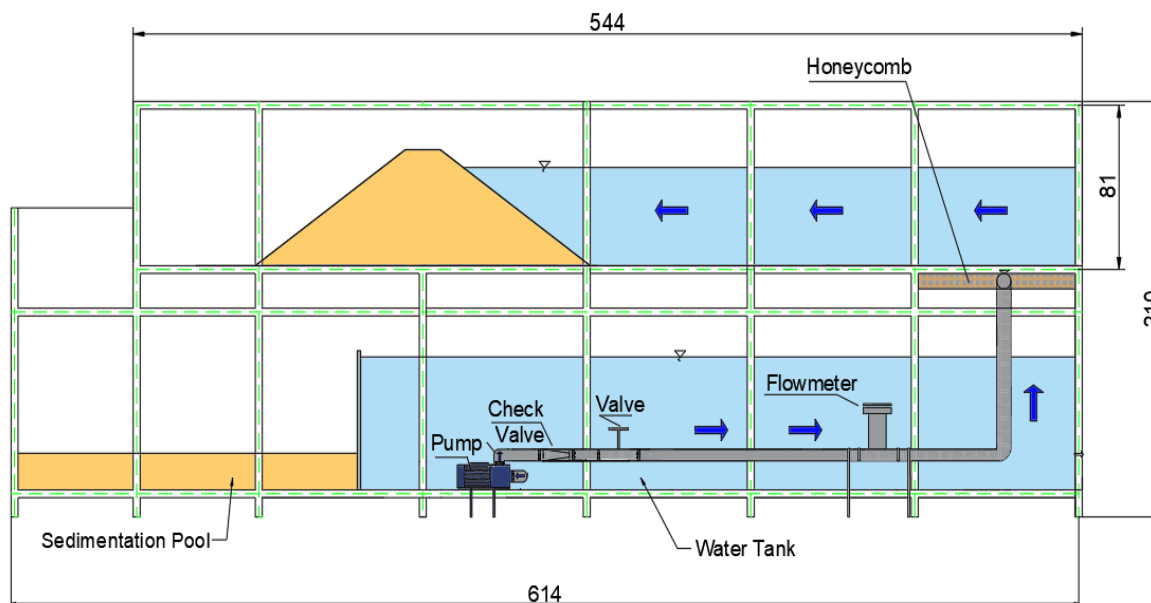


Figure 1. Experimental set-up

Before building the dam, some common soil mechanics experiments were conducted. 85 % medium sand and 15 % clay were used to prepare the soil mixture of the dam body. Wet sieve and hydrometer analyses were conducted to obtain the grain size distribution of the soil mixture.

The particle size distribution of the mixture is given in Figure 2a. According to this figure; $D_{10}=0.006$ mm, $D_{30}=0.075$ mm, $D_{50}=0.3$ mm, and $D_{60}=0.4$ mm. The coefficients of uniformity and curvature were found as $C_u=66.7$ and $C_c=2.34$, respectively. The soil was classified as Clayey Sand with a corresponding symbol SC according to Unified Soil Classification System. The specific gravity for the mixture was 2.63. Specific gravity for the soil passing No.200 sieve was obtained as 2.72. According to the consolidation test results, the compression index (C_c), recompression index (C_r), and swelling index (C_s) were found to be as 0.100, 0.009 and 0.007, respectively. The permeability of the mixture was found as $k=4.66 \times 10^{-4}$ cm/s from the falling head permeability test. From the direct shear test, it was found that the soil mixture has a cohesion value of 15.33 kPa and an internal friction of 33.93° . Proctor test was performed to obtain the maximum dry unit weight and the optimum water content (Figure 2b). From Figure 2b, $\gamma_{dry,max}=1.8$ g/cm³ and $w_{opt}=12.5$ %. In the experiments, the energy was reduced by 50 % in order to facilitate the occurrence of piping. Hence, the number of blows applied for each layer for proctor test was 13 instead of 25. In the experiments, the bulk density of 2 g/cm³ was satisfied for each layer. Before the compaction, each layer was 14 cm thick and after the compaction it was reduced to 10 cm.

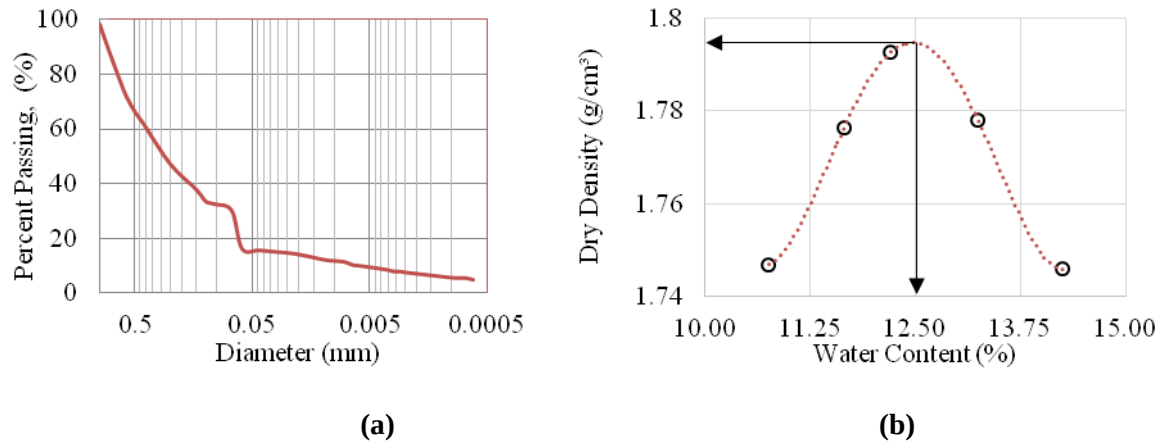


Figure 2. Grain size distribution and dry density-water content relationship

Figure 3 shows some construction stages of the dam body. During the compaction, the mixture was spread out evenly and compacted by using a plate and proctor hammer. At the end of the construction, the L-shaped molds were removed and the excessive soil materials were carefully trimmed by using a trowel.

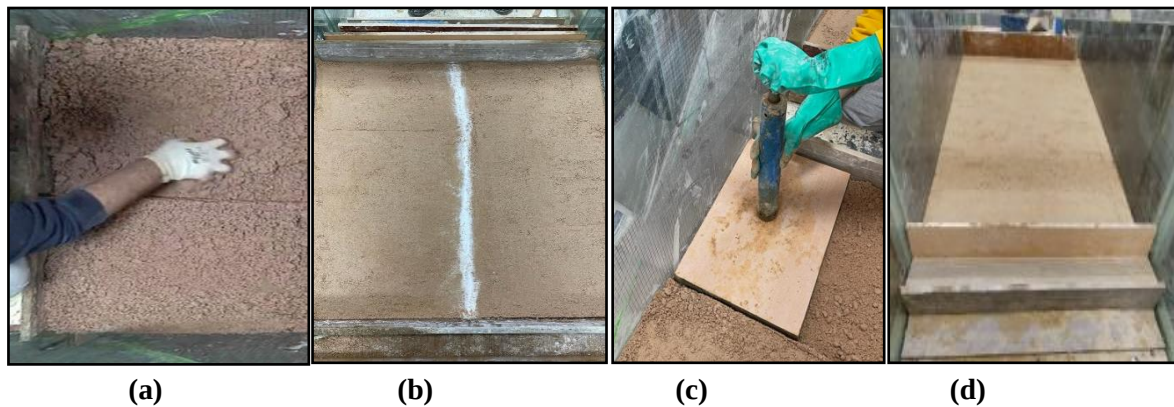


Figure 3. Some construction stages: a) Spreading out of the mixture, b) Creating weak layer, c) Compacting, c) After compaction of the second layer

The details of the dam dimensions and weak layer are given in Table 1:

Table 1. Details of the dam dimensions and weak layer

Scenario	1	2
Height (m)	0.60	0.65
Bottom width (m)	2	2
Crest width (m)	0.20	0.05
Weak layer location	Bottom	Middle
Weak layer shape	Square 5x5 cm ²	Square 2x2 cm ²

A magnetic flowmeter was used to measure the flow rate. Six cameras were placed at different locations to monitor the experiment and record the evolution of the dam failure. An

electromagnetic sensor was utilized to adjust the water level so that the pump starts and stops at pre-determined water depths in the channel.

3. EXPERIMENTAL FINDINGS

Figures 4 and 5 show the time-varied breach shapes as obtained by the cameras placed at downstream of the dam, in the cases of the seepage at bottom and middle, respectively. The time $t=0$ corresponds to the time at which the breach appeared at upstream face. The time elapsed between the instances at which the breach appeared at downstream and upstream sides (T_{elapsd}) is given in Table 2.

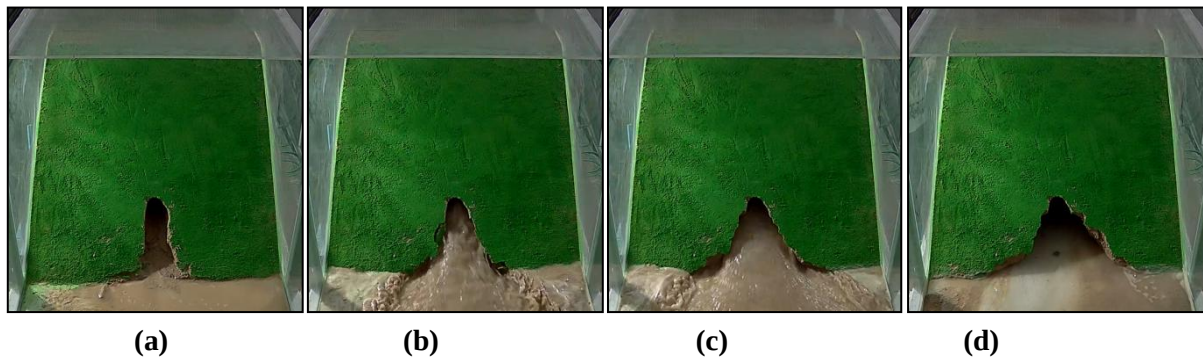


Figure 4: The temporal development of the breach at downstream in the case of the seepage at bottom a) $t=0$ s, b) 20 s c) 30s, d) 315 s

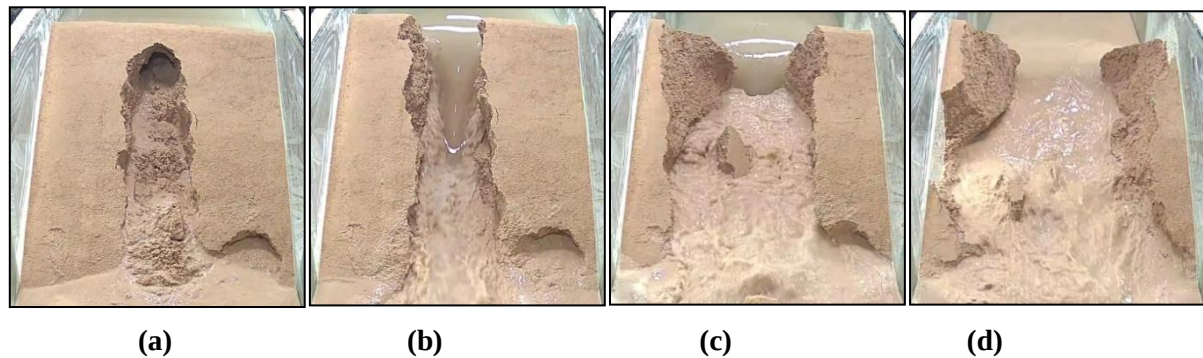


Figure 5. The temporal development of the breach at downstream in the case of the seepage at middle a) $t=0$ s, b) $t=30$ s, c) $t=60$ s, d) $t=100$ s

Figures 6 and 7 show the time-varied breach shapes as obtained by the cameras placed at upstream of the dam, in the cases of the seepage at bottom and middle, respectively. The time $t=0$ is the time at which the initiation of the seepage occurs at downstream face.

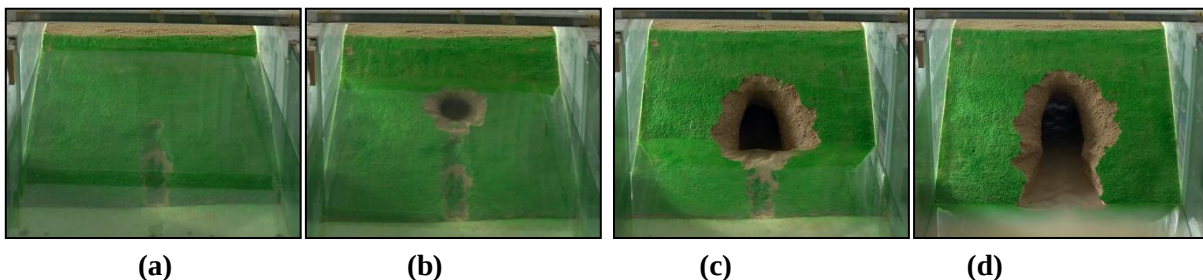


Figure 6. The temporal development of the breach at upstream in the case of the seepage at bottom a) $t=0$ s, b) 15 s, c) 50 s, d) 310 s

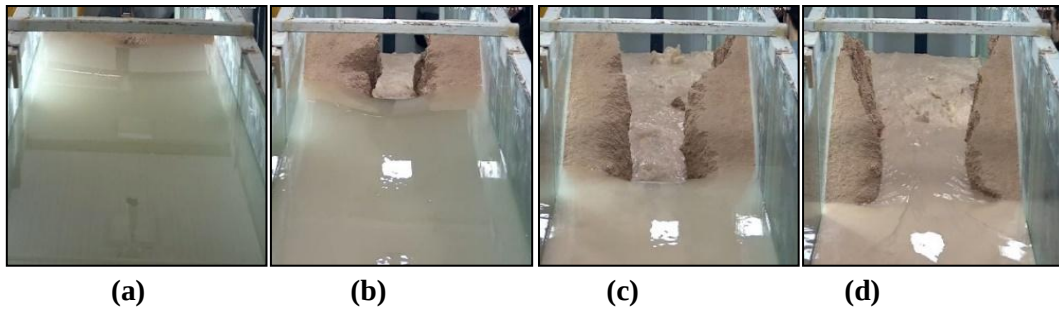


Figure 7. The temporal development of the breach at upstream in the case of the seepage at middle, a) $t = 0$ s, b) $t = 30$ s, c) $t = 60$ s, d) $t = 100$ s

Camera recordings were used to obtain the water depth values in the channel. The images recorded by the upstream and downstream cameras were examined in order to assess the breach's geometry and determine the change in its shape. The boundary coordinates of the breaches at the downstream and upstream sides were obtained at Get-data Graph Digitizer 2.26 software along with the scaling of the images derived from the records corresponding to a certain period. The temporal total breach areas were calculated by the Gauss Area formula. The discharge of water outgoing from the breach was determined by using the continuity equation (Eq. 1):

$$\Delta S = (Q_{pump} - Q_{breach}) \cdot \Delta t \quad (1)$$

where Q_{pump} is the flow rate delivered by the pump, Q_{breach} is the discharge from the breach, ΔS is the volume stored in the dam reservoir during the time interval Δt . The temporal water depths in the channel for different scenarios are given in Figure 8a. The temporal discharges outgoing from the breach calculated from Eq. (1) for different scenarios are given in Figure 8b.

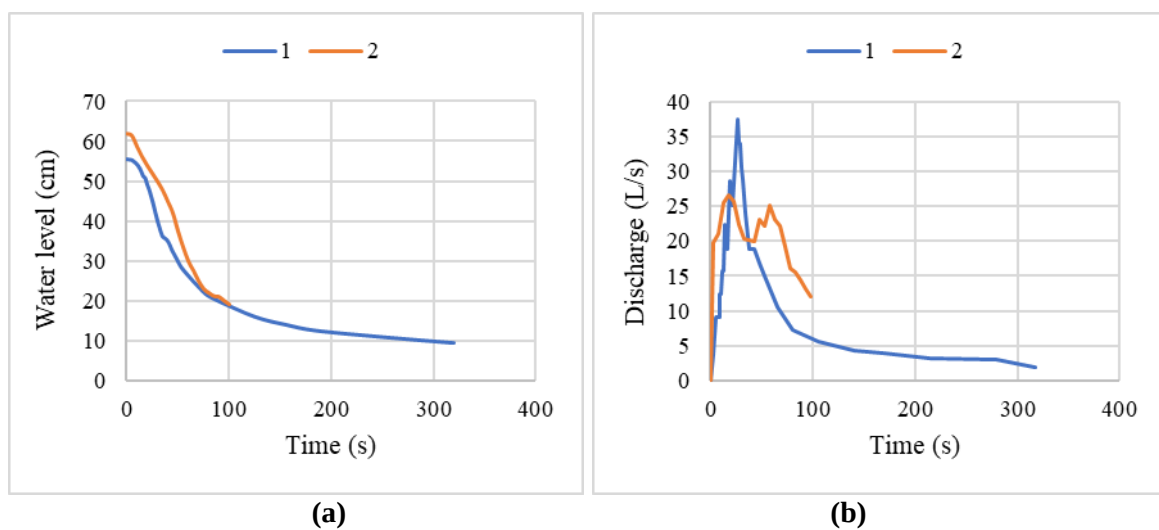


Figure 8. a) The temporal water depths in the reservoir and b) time-varied discharge outgoing from the breach for different scenarios

The temporal variations of the breach area at downstream and upstream are shown in Figure 9a and 9b, respectively.

In Figures 8,9 and 10; the time $t=0$ corresponds to the time at which the breach appeared at upstream face.

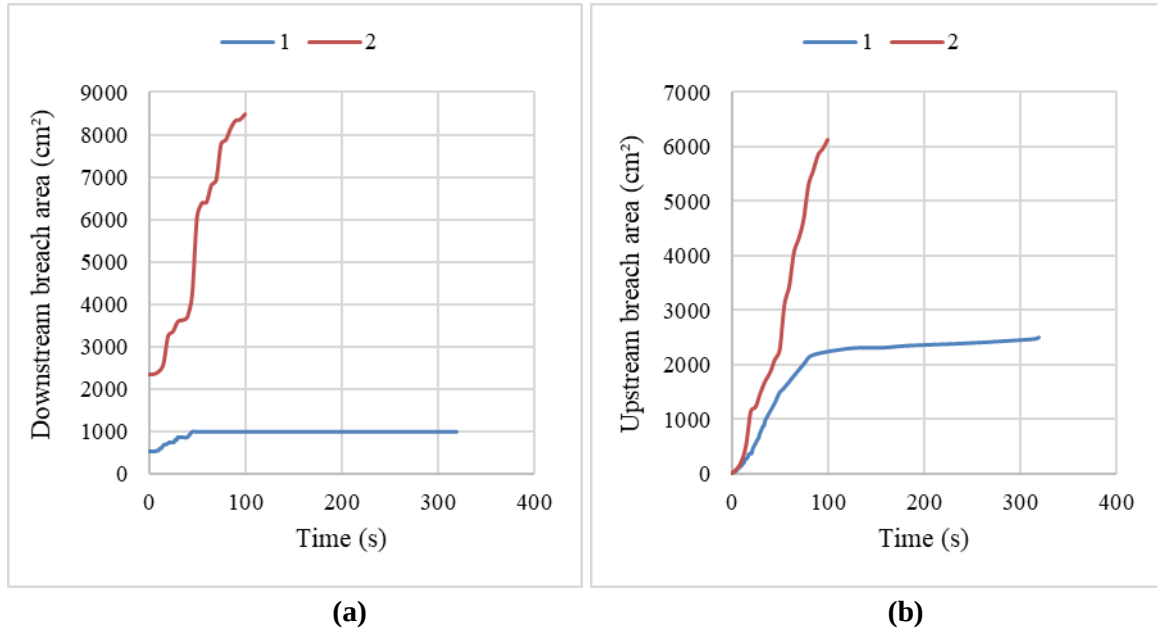


Figure 9. Temporal variations of the total breach area a) at downstream and b) at upstream for different scenarios

The comparative experimental findings are given in Table 2 where T_{elapsed} denotes the time elapsed between the time of appearance of the seepage at downstream side and the time at which the breach reaches the upstream side.

Table 2. Comparison of the experimental findings for different scenarios

Scenario number	1	2
T_{elapsed} (s)	828000 (230 h)	825 (0.23 h)
Max. flow rate Q_{max} (L/s)	37.4	26.6
t_Q = time to reach Q_{max} (s)	828026	842.5
Max. breach area at downstream B_{dmax} (cm²)	996	8483
t_d =time to reach B_{dmax} (s)	828045	930
Max. breach area at upstream B_{umax} (cm²)	2499	6139
t_u =time to reach B_{umax} (s)	828320	930

The graphs of the curves $Q/Q_{\text{max}} = f(t/t_Q)$, $B_d/B_{\text{dmax}} = f(t/t_d)$ and $B_u/B_{\text{umax}} = f(t/t_u)$ are given in Figure 10a, 10b and 10c, respectively. Q , B_d and B_u denote time-dependent values of the discharge, the breach area at downstream and breach area at upstream, respectively.

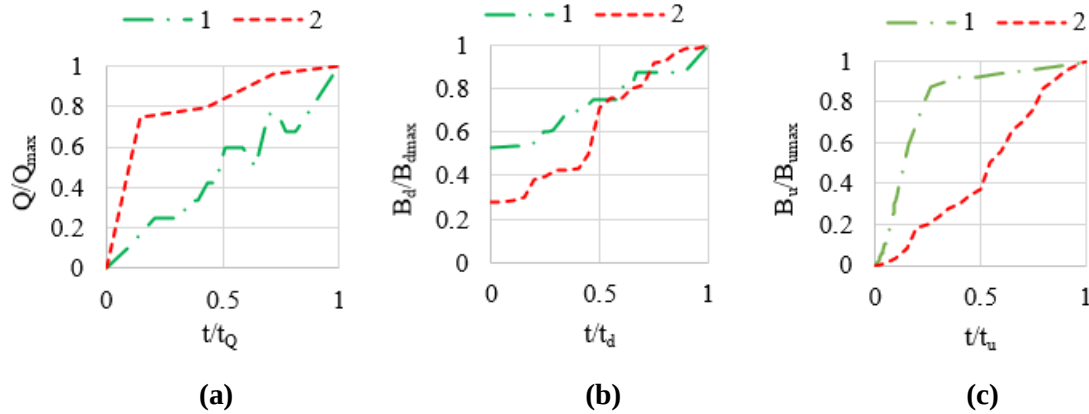


Figure 10. Graphs of the curves a) $Q/Q_{\max} = f(t/t_Q)$, b) $B_d/B_{d\max} = f(t/t_d)$ and c) $B_u/B_{u\max} = f(t/t_u)$

4. RESULTS AND CONCLUSIONS

In all scenarios, the erosion started at downstream, developed and continued inward toward upstream.

The peak flow rate was biggest in the case of seepage at the bottom because of the important water head value over the breach.

It was revealed that the breach areas were maximum in the case of the seepage located at middle part due to the existence of the space for the breach enlargement.

T_{elapsed} was found approximately 1000 times longer in the 1st case compared to that of 2nd scenario, because of the long distance between two sides at bottom.

According to Figure 10, when the breach appeared at upstream face, the breach area values at downstream face equal 53 % and 28 % of the maximum ones, in the cases of 1st and 2nd scenarios, respectively.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) for supporting financially this study through the project 119M609.

REFERENCES

- [1] Fell, R., Wan, C. H. and Foster, M., Progress report on methods for estimating the probability of failure of embankment dams by internal erosion and piping, University of New South Wales, Sydney, Australia, 2003.
- [2] Chen, S. Shui, Zhong, Q. ming and Shen, G. Ze, Numerical modeling of earthen dam breach due to piping failure, Water Science and Engineering, 12(3), 169–178, 2019. doi: 10.1016/j.wse.2019.08.001.
- [3] Greco, M., Pontillo, M., Iervolino, M. and Leopardi, A., 2DH numerical simulation of breach evolution in an earth dam, River-flow2008, 661–667, 2008.

- [4] Sharif, Y. A., Elkholy, M., Hanif Chaudhry, M. and Imran, J., Experimental Study on the Piping Erosion Process in Earthen Embankments, *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(7), p. 04015012, 2015. doi: 10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001019.
- [5] Morris, M., Hassan, M., Kortenhaus, A., Geisenhainer, P., Visser, P. and Zhu, Y., Modelling breach initiation and growth, *Flood Risk Management: Research and Practice*, 581–591, October, 2008. doi: 10.1201/9780203883020.ch67.
- [6] Guney, M. S., Dumlu, E. and Okan, M., Experimental Study of the Evolution of the Breach and the Discharge through the Breach resulting from Piping due to Seepage at the Mid-part of Earthfill Dam, *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 12(2), 43–51, 2023.
- [7] Guney, M. S., Dumlu, E., Okan, M. and Tayfur, G., *Experimental Study of Breach Evolution and Discharge Through Breach Resulting from Piping due to Seepage at the Upper Corner of in an Earth-Fill Dam*, 14th International Conference on Hydrosience & Engineering (ICHE 2022), 99–109, MAY 26-27, 2022, S. Elci and G. Bombar, Eds., İzmir, Turkey, 2022. doi: 10.11159/iccste22.215.
- [8] Guney, M. S., Dumlu, E., Okan, M., Bor, A., Aklik, P. and Tayfur, G., *Experimental Study of the Evolution of the Breach and the Discharge through the Breach Resulting from Piping due to Seepage at the Earth-Fill Dam Bottom*, 7th International Conference on Civil Structural and Transportation Engineering (ICCSTE'22), 115-1-115-8, Niagara Falls, Canada – June 05-07, 2022, 2022. doi: 10.11159/iccste22.215.
- [9] Guney, M. S., Okan, M., Dumlu, E., Bor, A., Aklik, P. and Tayfur, G., *Experimental Study of the Evolution of the Breach and the Discharge Through the Breach Resulting from Piping due to Seepage at the Earth-Fill Dam Top*, 39th IAHR World Congress 19-24 June 2022, M. Ortega-Sánchez, Ed., 2735–2743, Granada, Spain, 2022. doi: 10.3850/IAHR-39WC2521711920221298.
- [10] Dumlu, E., *Experimental and Numerical Investigation of the Evolution of Piping and Resulting Breach in Earth-fill Dams*, M.Sc. Thesis, İzmir Institute of Technology, 2022.
- [11] Okan, M., *Experimental and Numerical Investigation of Piping in Uniform Embankment Dam with Weak Layer at the Upper Region*, M.Sc. Thesis, İzmir Institute of Technology, 2022.

THE ROLE OF BIG DATA IN DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR INTERIOR DESIGN

Assoc. Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ

Kahramanmaraş İstiklal University, meryem.gecimli@istiklal.edu.tr - 0000-0002-1776-1936

ABSTRACT

This research critically examines the nature of big data and its potential to positively influence interior design through its application in decision-making processes. As design processes increasingly transition to digital formats, data-driven design in architectural and urban planning may establish the basis for urban information modeling. Interior design approaches can contribute to building modeling by offering insights into spatial arrangements and the activities conducted within such spaces. The data-driven design informed by such data would allow spaces to react to users' physical movements in real time and adapt to the rapid evolution of usage processes within complicated design challenges. Traditional design data, like materiality, color, and assembly, can now be quantified, together with newly collected data in the field of architectural design. For practitioners, the precise acquisition of environmentally pertinent data following a comprehensive component evaluation can enhance design processes, from programming to the overarching comprehension of the built environment. The suggested combined dataset offers design analytics researchers a more dependable method for examining design outputs, processes, and decision-making. This line of thought aims not to restrict the data relevant for future design nor to make definitive assertions, but to outline the broader transformations within the field and their implications for the architectural design industry. The crucial aspect is that for future-oriented decision-making challenges, scenarios predicated on situations outside conventional reasoning can be evaluated without necessitating compromise or the iterative processes of experimentation with space, materials, and application. The primary objective of this comprehensive discourse is to comprehend the implications of big data for design and to explore strategies for tackling the challenges linked to the thorough analysis of practices, disciplinary frameworks, and novel forms of future design data organized by relevant data analytics tools and methodologies.

Keywords: Big Data, Decision Support System, Interior Design,

1. INTRODUCTION

The most general concept of Decision Support Systems (DSS) addresses interactive computer-based systems that help decision-makers utilize data and models to solve complex and unstructured decision and problem scenarios (Tariq & Rafi, 2012). The main focus of these systems is on producing better insights for decision-makers to ultimately contribute to better decisions in real-time. In its most generic form, a DSS is composed of three components: Data, the inputs of the system; Model, the representation of the scenario; and User Interface, the interactions between the first two components and decision-makers (Kashada & Li, 2016). DSS

is strengthened by the human decision maker so that better judgments can result from this interaction. Unlike traditional transaction processing systems, DSS effectiveness depends highly on the quality and relevance of data and its analysis. The significance of this data aspect has increased with the advancement of technology. The same could be said of the use of big data analytics applications. As technology progresses, the requirement for timely, yet accurate data is crucial for DSS performance. Various sectors are looking into DSS incorporation to comply with this development. Although these solutions have been around for a while, previous technologies could not provide the aptness that exists today for an efficient DSS. The description of the above-mentioned parts exemplifies a generic DSS setting that is likely the initial choice when considering DSS development. The definitions and components that are integral for effective DSS implementation will be encompassed in this elementary section.

Decision Support Systems in the Big Data Era The concept still holds importance even in times of the big data analytics paradigm. However, decision-making processes in such complex data are a challenge. Consequently, it is expected that decision support applications will become more popular in various sectors. Offering solutions for such an application area does not have a one-size fits all requirement; hence generic model and framework thinking will be crucial. The Framework to be presented here will involve suggestions on what aspects to focus on when considering the design and implementation of DSS especially in the context of big data. Fairly adaptable systems can be produced that key players from various sectors would find valuable (Rawat et al.2021).

1.1. Definition and Components

Despite some variations in terminology, the fundamental definitions of decision support systems (DSS) have generally been clear: computer-based information systems that support (not replace) decision-makers faced with significant informational and situational complexity. A DSS provides a variety of informational and analytical aids and tools that can assist the user in problem-solving and decision-making tasks. A typical DSS is a complex system consisting of a number of components that work together to form an integrated decision support capability (Tariq & Rafi, 2012). These components include databases, software applications, and user interfaces. The database component of a DSS contains all relevant information that may be useful for a decision-maker, either provided from external sources or generated by the decision-support applications. The software applications component performs the analytical tasks required by the decision-maker, usually implementing various models (quantitative or otherwise) of some aspects of the decision-making domain. At a minimum, most DSS include data management, model management, and the user interface components. These are the core components that support the functionality DSS were originally intended to provide. DSS are fundamentally about modeling and manipulating the interactions between data, decisions, and an underlying best assessment of how the first two affect each other. They are complex paradigms that go well beyond the database applications that traditionally focus solely on efficient data storage and retrieval (Omidvar & Bordbar, 2016). Managing data appropriately and integrating it effectively into a model of the decision-making problem is at the heart of the DSS concept and is what makes it particularly challenging. Over the years, a variety of DSS implementations have proliferated that have customized these components for different applications, resulting in a large number of more specialized types of DSS. Most simply consist of a set of analytical tools that analysts use to examine data in detail, identify trends, problems,

opportunities, etc., and project the potential effects of different choices. In their most complex forms, they run simulations of business situations and use optimization algorithms to examine a myriad of complex potential outcomes and suggest the actions most likely to have the intended effect. In this way, they can also identify otherwise non-obvious possible consequences of different modeling assumptions or courses of action, greatly enhancing the ability of the decision-maker to identify and respond to systemic situations and strategy. Early DSS developments had some notable successes in this regard and were heavily sought after. Over the years, persistent limitations of the early systems, combined with the considerable human expertise required to interpret their results, resulted in the somewhat mixed reputation that DSS in general have contracted in some quarters in the intervening years. However, they remain used and sought after in most areas of the business world (Dastres and Soori2021).

2. BIG DATA IN INTERIOR DESIGN

Mass customization, consumer analytics, smart homes, and big data-local trends suggest changes in the way that we think, design and interact, changes in an increasingly technological discourse (Royds, 2018). As a professional designer employed within the area of interior design, there are a plethora of altered methodologies imaginatively explored by designers due to these sectors. This paragraph discusses the transformative role of big data within the discipline of interior decoration; user datasets, trend datasets, and environment datasets created by businesses and individual consumers, influencing the design choices and the problematic issues through several facets. Interior design, much like architecture, is a comprehensive subject with a varied and interdisciplinary research agenda. As such, big data seems to embody a broad spectrum of research avenues. For the field of interior design, this discipline entails researching trends from a consumer or commercial perspective or, alternatively, environment factors that might determine design. (Juan et al.2021)

In an environment of increased competition and heightened consumer expectation, a competitive edge is essential to attract and retain clients. With the advancement of digital infrastructures and offerings, big data is becoming an invaluable asset for businesses. This is particularly true for the discipline of interior design as data can be gathered from user behaviour to forecast trends (Fructuoso, 2018). Big data might be used as an interactive tool-set for interior design in several areas, such as design methodology, design support, design assessment, design presentation, and trade spaces. On top of all the usual platforms and time-intensive research, designers can use analysis tools, websites and applications to collect and collate information from a wide variety of sources on the latest colours, styles, or patterns. Further to this, there are numerous design software packages that monitor the changing landscape of design, with many of the larger programs mingling prediction functionality alongside their conventional tools. (Singaraju and Niininen2021)

2.1. Applications and Benefits

Leveraging big data allows a broader scope from which professionals in interior design can work. A greater understanding of needs and preferences of those that will be occupying the space is achieved through the use of big data. The application of data analytics in designing the interiors of retail shops will be discussed where the emphasis is on designing the cost-effective aesthetic shop that drives the customer in for a purchase. Different case studies from the

industry will be evaluated where data analytics is being used to design the efficient shop (Park & Hyun2022).

Personalization of customer experience is an important approach where businesses tailor their product offerings to individual customers in real-time. Designing tailored solutions has become a necessity in the competitive marketplace where the owners strive to deliver the “right” products and services to enhance the customer experience and drive the performance of marketing strategies. The increasing interest of SMEs bringing data analytics into the heart of their operations seeks to investigate the potential of big data insights and its practical implications. A case study of an Australian spa and beauty business is shared, showcasing how data analytics is adopted in the analysis of the business transactions and in the design of retail products (Alharthi, 2018).

Interior design is the art and science that enhance the look of the space. The professional interior designer works on various aspects like windows, walls, lights, furniture, etc. to improve the space and make it aesthetically pleasing for the occupants. The use of big data in the interior design industry is still at a nascent stage. However, the evolution is needed in the design process of the interior layout and designing of the space. Insights from the data have the potential to significantly widen the scope of the professionals working in the interior design domain. The goal should be on the design and build up of beautiful and functional spaces in a focused and efficient manner. Insights from big data can be used to achieve this, such as identifying the trends on what customers want? What is the type of design they likely? What the areas should be designed to match the customer’s preferences? What the design strategies that should be adopted to improve the look of the space? Design is the paramount aspect to improve the look, but adding a personalized touch in the design can arrange the space differently, and make every aspect of the space comes alive. Fetching patterns on the furniture and color preferences and deciding the design accordingly. Some colors and designs are trending for a certain period, it is possible to design the layout in the trending design, or adopt the offing trending designs to attract customers. The analysis of what equipment is to be placed, available spaces and arrangement of equipment so the available spaces can be used efficiently. This type of space arrangement is valuable, similarly the arrangement of the showcasing window products based on the customer’s interest is important to drive more customers in (Stylos & Zwiendelaar, 2019).

3. INTEGRATION OF BIG DATA AND DECISION SUPPORT SYSTEMS

Big data has the potential to help decision makers by supporting their decision-making process within the framework of decision support systems . Synergies between big data analytics and DSS may help decision makers handle unstructured data and make them more confident in their decisions. Interior design projects are distributed in terms of space and time, and can generate a vast amount of data throughout their live cycle. When big data is integrated with DSS functionalities, the decision-making process can occur more effectively along the project life. Then, designers are allowed to make decisions more responsively and agilely owing to real-time data. Nevertheless, there are challenges pertaining to such integration. The discussion is illustrated with the help of a developed experimental case. (Nisar et al.2021)

Firstly, it is quite difficult to establish an uninterrupted connection with emerging big data sources, and interior design practices are already limited by resource constraints. On the other

hand, transparency and interpretability has been raised as big concerns for DSS due to black-box models used in big data analytics. However, there are various opportunities for seamlessly blending those two advanced systems. Instead of replacing designers, such a hybrid system can help them to focus on more creative tasks. It may generate an appreciable potential for innovative furniture designs. Given the extensive amount of job-scopes, it is not easy to define a generic interior design task. The ensuing workflows are expected to be interdisciplinary, converging and branching. As a bridge between theoretical foundations of DSS and practice, novel methodologies targeting developers, providers and/or users of DSS are introduced. To this end, collaborative events, forums and platforms are suggested where multi-disciplinary stakeholders might exhibit, demonstrate or discuss their innovative applications and secondary materials.

3.1. Challenges and Opportunities

Big data and decision support systems (DSS) have received an increasing amount of attention by the literature and the industry, particularly for sectors focused on innovative and creative design fields. However, there is little research on the integration of big data as support for better decisions in interior design, explicitly when DSSs are part of the design process. This integration presents challenges and interesting opportunities.

In terms of challenges, big data is brought into DSS and interior design reflects a theoretical schema. In this schema, the integration of big data in DSS (Almeida, 2018) in interior design is described based on the conceptual model (Stylos & Zwiegelhaar, 2019) made up of technical issues, efforts, outcomes, and effects in interior design practice and business models, stakeholders, and actions.

It reflects a balanced view that systematizes more than 25 challenges and 25 opportunities derived from the analyzed interactions. Big data may present several new challenges when integrated with DSSs in interior design. From a technical perspective, data quality and big data storage and analysis may represent significant barriers, as they are more complex issues for interior design companies. Additionally, interoperability and complexity of big data sources and lack of experts may difficult data sharing and analysis. Efforts such as securing data, standards, governance, privacy policy, and data security may also be more relevant given confidentiality concerns. Outcomes related to privacy, security, and confidentiality of data confidential disclose are likely to have impacts on design business and affect a broader perspective of entrepreneurial/intellectual property, instead of a traditional view such as patents. (Deng et al., 2022).

4. CASE STUDIES

The following list of real cases in which big data consultation and decision support systems were implemented for interior design projects aims to illustrate their feasibility and to encourage their further application: a hotel room model for determining the optimal design of different types of rooms at the project phase; a sustainable ecological model for determining the compatibility of the design of interior furniture and decorative materials of public spaces with environmental protection and social concerns; a specialized DIY design decision supporting model for determining the style of a renovated interior design at the planning phase; a comparison model for benchmarking public spaces specified in detailed design plans with

other existing public spaces; and a result prediction model for the number of weekly consultations at a housing material store by comparing internal data and external data (Fructuoso, 2018). The cases analyzed in different models and frameworks indicate that broader categories can be created, which can be used to improve and accelerate problem solving in the interior design field. (Ashour et al.2022)

The performance evaluation models that verify the output of these categories can also be positively applied by changing the contents of the models parameters according to the project. This article can be useful in design research, and by clearly presenting the theoretical and methodological background, and cases to support the main topic, it can encourage and make it easier to adopt big data-based solutions in interior design projects for scholars, specialists, designers, companies, and officials involved in the design community. The results of the actual application of the big data solutions at five different levels in interior design suggest a broader view of the design field for the digital transformation era. A variety of models and frameworks were applied and managed according to the purpose of the use of big data, project areas, and detailed aspect management, and the cases were analyzed, focusing on the implementation effectiveness and derived implications of each model (Bao et al.2022).

5. FUTURE DIRECTIONS

Big data is getting bigger within the interior design realm, with a growing prominence in trade periodicals and design publications, as well as academic research. Rapid advances in technology, along with the exponential growth of data collection, combined with rapidly expanding technical knowledge and capabilities, will only make data analytics more relevant in design disciplines (Fructuoso, 2018). Decision support systems, enabled by big data, will begin to greatly impact the traditionally subjective, intuitive, and experience-based methods used by interior designers. New tools and techniques will streamline certain elements of design practice, allowing designers to focus their specialized skills and purposeful creativity in new ways. (Pham et al., 2022)

It is expected that the use of AI, along with other big data methodologies, within the interior design profession is not perceived as a threat to the future of designers, but rather as a complement that will allow for even richer data analytics, facilitating and enhancing the design process. It is also emphasized that, as big data methodologies mature and continue to further penetrate design disciplines, it will be of great importance to continue to develop best practices related to data integration, utilization, and sharing. Opportunities to leverage big data's transformative capabilities effectively rely on increased collaboration between technology providers and design practitioners. These collaborations may include the harnessing and clarification of gold-standard industry metrics and vital signs, user interface design recommendations to ensure the usability and interpretability of new design-datamining tools, and the development of common data pools. There are several important ethical considerations that must be kept in mind with regard to the use of big data methodologies in interior design contexts. Practices must follow all legal regulations and data use must always respect user privacy. Additionally, questioning the impact that the increasing integration of big data methodologies in design disciplines will have on consumer behavior is advised. This is a role that can have a great influence on trends, thus it is also an important responsibility. (Cao, 2021)

5. CONCLUSION

Data-driven practices have promised to revolutionize many sectors, and that is no less true in the creative fields such as interior design. Today, interior designers are increasingly becoming IT-savvy professionals driven by complexity in contemporary design problems and the abundance of alternative solutions that big data brings. While enriched by massive sets of knowledge which ranges from cultural, social and behavioural aspects of design contexts to the description and specification of a broad variety of artifacts, big data in interior design is also used to reveal patterns otherwise too complex or hidden to be noticed. In addition, big data is being conveniently mapped to geometric representations fostering data-driven methods for the generation or optimization of (3D) spatial designs. The potential of big data in interior design has attracted enthusiastic researchers and the industry that are designing smart cities, sustainable homes and offices, or leveraging the IoT and 5G implementations for the smart workplace. Nonetheless, challenges are arising, among which is the need for more responsible and human-centered design practices, the handling of large and diverse datasets, or ethical concerns around data privacy. Thus, it is envisioned how the exploration of big data tools, alongside a more nuanced conceptualization of big data, can inform innovative and critically designed decisions – a quite needed effort to seek a fair and sustainable appropriation of big data in such creative and place-making practice that is interior design.

In recent years, several discussions on the use of big data in the context of architects, urban planners or designers expand into the burgeoning studies on smart cities, big culture and data-driven residential uses. However, incorporating big data into design practices also brings challenges in terms of usability, generality, representativeness, reliability and bias in data sources, which are often overlooked. Thus the essay is in particular focused on big data techniques that find meaningful applications in the importing, analysing and exporting steps of a DSS for interior design for public spaces, fashion stores or households, more prevalently in the context of Western cities.

REFERENCES

- Alharthi, M. The Role of Big Data in Influencing Strategic Decision-Making for Organizations: A Review. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 42 (3), 83-89, 2018
- Almeida, F. Big data: concept, potentialities and vulnerabilities. *Emerging Science Journal*, 2(1), 1-10, 2018
- Ashour, M., Mahdiyar, A., Haron, S. H., & Hanafi, M. H. Barriers to the practice of sustainable interior architecture and design for interior renovations: A Parsimonious-Cybernetic Fuzzy AHP approach. *Journal of Cleaner Production*, 366, 132958, 2022
- Bao, Z., Laovisutthichai, V., Tan, T., Wang, Q., & Lu, W. (2022). Design for manufacture and assembly (DfMA) enablers for offsite interior design and construction. *Building Research & Information*, 50(3), 325-338, 2022

- Cao, C. Research on innovative application of artistic characteristics of building decoration materials in interior design based on big data. In *Journal of Physics: Conference Series*, 1744, (2), 022020, 2021
- Dastres, R., & Soori, M. Advances in web-based decision support systems. *International Journal of Engineering and Future Technology*. 1-03367778, 2021
- Deng, Y., Ai, H., Deng, Z., Gao, W., & Shang, J. (2022). An overview of indoor positioning and mapping technology standards. *Standards*, 2(2), 157-183, 2022
- Fructuoso, J. J. BI & Data Science for architects. 'The Building Data Library': an online platform to share and analyse building data. *EURAU18 alicante Retroactive Research Congress Proceedings*, 364-370, 2018
- Juan, Y. K., Chi, H. Y., & Chen, H. H. (2021). Virtual reality-based decision support model for interior design and decoration of an office building. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 229-245, 2021
- Kashada, A., & Li, H. The Impact of Organizational Aspects on Successful Adoption of Decision Support System in Developing Countries: The Context of Libyan Higher Education Ministry. *Journal of Advance Public Policy and International Affairs (JAPPIA)*, 4(8), 2016
- Nisar, Q. A., Nasir, N., Jamshed, S., Naz, S., Ali, M., & Ali, S. Big data management and environmental performance: role of big data decision-making capabilities and decision-making quality. *Journal of Enterprise Information Management*, 34(4), 1061-1096, 2021
- Omidvar, M., & Bordbar, F. Advanced decision support systems for managers. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 2(3 (s)), pp-700, 2013
- Park, B. H., & Hyun, K. H. (2022). Analysis of pairings of colors and materials of furnishings in interior design with a data-driven framework. *Journal of Computational Design and Engineering*, 9(6), 2419-2438, 2022
- Pham, C. T. A., Magistretti, S., & Dell'Era, C. (2022). The role of design thinking in Big Data innovations. *Innovation*, 24(2), 290-314, 2022
- Rawat, S., Rawat, A., Kumar, D., & Sabitha, A. S. Application of machine learning and data visualization techniques for decision support in the insurance sector. *International Journal of Information Management Data Insights*, 1(2), 100012, 2021
- Royds, D. The big data analysis challenge for landscape architecture. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 3, 191-199, 2018
- Singaraju, S., & Niininen, O. (2021). Understanding Big Data and its application in the digital marketing landscape. *Contemporary Issues in Digital Marketing*, 9, 2021

- Stylos, N., & Zwegelaar, J. *Big data as a game changer: How does it shape business intelligence within a tourism and hospitality industry context?* (pp. 163-181). Springer Singapore, 2019
- Tariq, A., & Rafi, K. *Intelligent decision support systems-A framework*. In Information and knowledge Management, Vol. 2, No. 6, pp. 12-20., 2012

WASTE MANAGEMENT AND CIRCULAR ECONOMY PRACTICES IN INTERIOR SPACES

Assoc. Prof. Dr. Meryem GEÇİMLİ

Kahramanmaraş İstiklal University, meryem.gecimli@istiklal.edu.tr - 0000-0002-1776-1936

ABSTRACT

In densely populated urban environments, where consumption patterns are consistently and continuously on the rise, various stakeholders, including interior designers, architects, and sustainability experts, are actively exploring innovative and efficient health-conscious design techniques specifically tailored to meet the unique needs of these crowded and bustling spaces. These techniques are specifically tailored to meet the requirements of these spaces. The purpose of this inquiry is to investigate contemporary interior design methods that are centered on waste management, as well as the ideas of circular economy, which aim to reduce waste and promote sustainability within interior spaces. Through the utilization of qualitative content evaluation methodologies, it is possible to improve one's comprehension of the best practices that are currently being followed in this field. Additionally, the report emphasizes crucial areas of concentration that demand attention, such as furniture design innovations prioritizing recyclability, interior solutions produced for corporate spaces, and the integration of sustainable practices into dynamic interior settings. The ultimate objective is to build a comprehensive framework that not only offers ideas that may be implemented to enhance waste management procedures, but also stimulates efforts that are both impactful and sustainable, particularly in the field of interior design. The purpose of this effort is to contribute to a more environmentally friendly, healthier, and responsible way of life in urban areas, with the ultimate goal of promoting a sustainable future for urban living practices.

Keywords: Waste Management, Circular Economy, Interior Spaces

1. INTRODUCTION

Cities are increasingly becoming the main stage for creative innovation in zones of transition. Interior spaces and the development of their potential represent a strategic domain for experimentation. Practice and theoretical speculation in architecture are called upon to propose new synergies by exploiting the relationship between form and waste management practices. These elements are in fact particularly significant in the contamination between experimental, reflective, and operative practices concerning the design discipline that interacts with the construction of spaces that bring together individual development and collective life (Muller, 2018). Practices and theories within this field combine interpretative perspectives with operative procedures in an experimental realm directed towards the development of projects across various scales. These projects reflect the intricate relationship between intimate spaces and nearby environments, seamlessly integrating combinations of forms, functions, and the cultivation of interiors. In this context, the sustainable potential of specific interior landscapes,

energy efficiencies, waste management, and naturalistic elements is activated. The focus shifts from merely designing individual rooms or collections of architectural elements to developing comprehensive visions for indoor spaces that adhere to cyclically complementary principles. This approach demands processes of acquisition and interpretation, as well as a thoughtful application of spatial, environmental, and interior analyses. Such methodology is essential for defining strategies of interior layout and the redistribution of uses, connections, and arrangements, tailored to the characteristics of the spaces, their resources, and their potential. (Kurniawan et al.2024).

2. THE CONCEPT OF CIRCULAR ECONOMY

The concept of circular economy is put in front of rational use of natural resources, decreased waste production and reduced energy consumption. The main components of circular economy and the interconnected terms such as industrial ecology, cradle-to-grave, cradle-to-cradle, etc. are explained. A difference between linear (open-loop) and circular (close-loop) economy is illustrated and the advantages of the former one are discussed. An importance of lifecycle assessment for implementation of the circular economy is mentioned (Androniceanu et al.2021).

Circular economy is the new “green” term in the sustainable development. It is widely in use in different areas of economic and societal life from production to spatial planning. It is closely linked with the rational use of natural resources, decrease of waste production and reduction of energy consumption. There are many different explanations for circular economy. It is best to present it through its main components or through the interconnected terms (Stefanakis et al.2021).

Remøy et al. (2019) explain the circular economy concept with reference to the industrial ecology: by analogy with the ecosystems of nature, industrial systems should be designed to gain added value from the residual products and means used. Circular economy is also related to cradle-to-grave concept in terms of assessment and attitude, which are referring to the entire lifespan of a product. Cradle-to-cradle is a design paradigm that models human industry on the processes of the natural world. In the context of Cradle to Cradle design, the term ‘circular’ is implied as a model system of industrial reuse. Rapid demographic and economic change on a global level induces shifts in production and consumption towards the circular economy and sustainable development. What is also justified by the report by the UNEP that after Copenhagen Climate Conference set a new strategy in the area of industrial and economic development using the potentials of the emerging new industry with the experience of the developed one with focusing on the transformation of the accumulated funds in the production of the sustainable goods and services not only to the poverty reduction, but also to the environment.

2.1. Principles and Key Components

Europe and the United States have the leading number of policies in both environmental protection and sustainable design due to the alarming pace of global warming and resource depletion. Waste management is a part of these policies and is integrated into the regulations. Yet implementation of these rules differs by country and sometimes even by region. Waste arisings continue to rise and the world cannot sustain the uncontrolled disposal of waste anymore. New and improved technologies are emerging which can help manage waste in a

more efficient way. Best practices must be ensured in waste collection, transport, treatment and disposal in order to avoid harm to human health and other negative impacts on the environment (Stefanakis et al.2021).

The model that used to run up until today is that of the linear economy when it comes to waste management. Waste prevention was not taken into consideration; the focus was on dealing with the waste produced downstream, at the end of the cycle. As the population and urbanization developed, waste management mostly meant ‘end-of-the-pipe’ solutions. The most common method for waste management was and still is landfilling. It was believed that if waste did not touch the human environment, there would be no trouble. Hence, the facilities for managing waste were constructed near the urban areas and were placed close to the waterbodies as well, causing environmental and social long-term damage. (Shi et al.2021)

Reducing Environmental Footprint and Enhancing Environmental Sustainability have become buzzwords for business seminars and political agendas. Considering that the built environment has a large share in the depletion of natural resources and the production of waste, interior designers have been expected to take part in the movement for sustainability. With the advancements in technology, most of the interior elements are made of materials that have a potential life of more than a century and emit hazardous fumes after disposal. As a solution and an alternative to the “throw-away culture”, the reuse, recycling and remanufacturing of products is brought to attention. This could either prolong the life of materials and products or create a resource cycle for the manufacturers (Muller, 2018). The creation of guidelines and goals for the production of durable, low maintenance products that can be restored or easily assembled and unassembled is requested by the designers.

3. WASTE MANAGEMENT IN INTERIOR SPACES

Waste management in interior architecture plays a crucial role in enhancing sustainability and reducing the environmental impact of design projects. This discipline not only focuses on the aesthetics and functionality of interior spaces but also addresses the efficient disposal and recycling of materials during and after construction(Emon et al.2025). Effective waste management strategies are essential for interior architects as they navigate the complexities of material selection and usage, ensuring that renovation and new construction initiatives minimize waste generation (Kurniawan et al.2023).

One significant aspect of waste management in interior architecture involves the careful planning of materials. Interior architects are increasingly opting for sustainable materials that not only enhance the visual appeal of a space but also reduce waste. This includes using reclaimed wood, recycled metals, and eco-friendly finishes that lessen the overall carbon footprint of a project. Additionally, such materials often support a circular economy by promoting reuse and recycling. Implementing waste reduction strategies during the design phase is also vital. Interior architects must consider how materials will be sourced, utilized, and disposed of throughout the project lifecycle (Ashour et al.2022). This includes designing for deconstruction, which allows valuable materials to be salvaged at the end of a building's life, rather than contributing to landfill waste. Effective collaboration with contractors and suppliers further enhances waste management efforts, ensuring that everyone involved understands the importance of minimizing waste throughout the construction process. (Mohsen & Matarneh, 2023)

Furthermore, interior architects are increasingly incorporating waste management into their design philosophies by promoting low-waste construction techniques, such as modular building systems that create less off-cut material during fabrication. By integrating these principles and practices, interior architects can create environments that not only serve functional and aesthetic purposes but also align with sustainability goals (Kineber et al., 2023). In conclusion, waste management in interior architecture is a critical component that intertwines with the overall design process. By prioritizing sustainable material choices, efficient construction practices, and recycling strategies, interior architects can contribute to environmentally responsible projects while enhancing the well-being of occupants and the surrounding community. (da et al.2021)

4. SUSTAINABLE MATERIAL SELECTION

The built environment and interior spaces are major sources of different types of waste. It is common for people to overlook some of these issues when renovating their homes or interior spaces. It is possible to reduce the environmental impact by carefully planning for the materials and products used within interior spaces. Use of materials and products that are low in hazardous chemicals can improve indoor air quality. Efficient waste management and waste reduction can also contribute greatly to a smaller negative impact on the natural environment. (Jamei & Vrcelj, 2021)

There are a few broad categories of sustainable design and construction strategies that fall under minimization of environmental impact (Florez, 2010). These include sustainable site selection and planning, sustainable material selection, water conservation, energy conservation, and indoor environmental quality. The selected practices aim mostly to create awareness of the potential positive impact on the environment of small-scale home renovations and interior environment creation and occupation. With the current emphasis on sustainable practices and the associated design of energy-efficient buildings, it is surprising that the interior environment is so often ignored in terms of harmful chemical use and poor air quality. In cases where architect or general contractor services are employed for major construction projects, it is possible that the architect will do the necessary research and present a range of choices. However, in the case of minor works, such as kitchen renovations, for example, these choices will fall to the property owner who may not have the expertise, knowledge and will to investigate potential environmental impacts (Kumar et al.2023).

4.1. Criteria for Selection

There are a variety of furniture pieces and interior building materials that come together to create interior spaces. Applications of furniture, objects within the space, covering materials used for surfaces such as floor, wall and ceiling, and common construction materials that are not visible constitute the interior spaces. Furniture pieces can change much more often compared to other materials within an interior space. In residential interior spaces alone it can be changed between 15-25 years when the furniture is no longer used or out of fashion (Mao et al., 2024).

Many of the materials used in interior spaces have been produced from raw materials obtained from nature. The manufacturing processes of these materials, recycling as well, have serious environmental impacts. Therefore, the materials used are required to be used throughout their life. There is no option for recovery of material life, reuse or recycling the material. The

selection of furniture and interior building materials in interior spaces is an important step for waste prevention and for the circular economy in interior spaces (Wiprächtiger et al.2022). Criteria must be defined for the selection of furniture and interior building materials to develop guidelines for making a selection. In these criteria, materials forming the furniture and building elements and the properties of the material are important, so that materials obtained from nature are less preferred. Transportation is a big expense in terms of material costs, and the selection is also directed to the materials with less transportation cost. Furniture design and storage, recycling and packaging properties are important for recycling. Following the principle of circular economy, the selection of furniture and interior building materials will help the optimal use of resources and reduction of waste in interior spaces (Varpa et al., 2024).

5. DESIGN STRATEGIES FOR WASTE REDUCTION

Different economies and industries have different reasons and strategies for waste reduction. Building refuse consists of material which is disposed of during building construction, demolition, and renovation. The purpose of this waste management is to manage resources effectively and efficiently during construction and design, including time, money, human resources, and material purchases, utility, plant, and waste disposal. Design and waste reduction in buildings reduce the time, costs, resources, and consumption of building material, waste management expensive by using energy for recycling. During the Construction phase, around 40% of societal solid waste comes from buildings. When the building phase of an interior project is finished, there is leftover material that becomes waste (Wang, 2023). The most important way of mitigating the impact of building construction is to pay particular attention to factors related to the design of the building, since decisions or factors conditioned by the design stage are the most determinant of the building process. Factors affecting the existence of waste in buildings can be separated into two groups. The first one is related to the design of the building; including both the architectural and structural design. The second group is not related to the design process. The methods for possible reduction of waste in the building process cannot be performed according to a precise, unique pattern, since the situation in each specific case must be analyzed. Consequently, this study presents an easy and quick tool that allows identifying the strategies that achieve the highest DW reduction and therefore generate the least waste. It also enables the comparison of different design alternatives in order to evaluate the relative impact of design on waste generation. The prediction model is illustrated by the analysis of a case study which compares the waste generation from the construction of two buildings with different design conditions. The most appropriate way to obtain a successful result is by using the appropriate basic rules provided, together with the model proposed, in the first stage of the building design process (Marieta et al., 2021).

5.1. Space Planning and Layout

Space planning and layout in the built environment sets the foundation for everyday activity and the choices made inside a space. By considering the layout of interior spaces, there is the possibility of optimizing those spaces to manage waste better. Built environments shape our everyday lives formally and informally. Apart from preparing spaces for a specific function predisposed by norms, building codes, and building industries, designed spaces have the potential of benefiting every living soul. The built environment has the potential of benefiting our actions and decisions; interior spaces have the potential of educating a specific behavior

within a space. Interior spaces are places that can be inspected most critically concerning their layout and practicality. By seeing how these spaces are used and how the wastes are managed in them, a better understanding is generated between the individual's connection with interior spaces and waste. Interior spaces have the potential of educating citizens in a different way regarding waste management. Understanding different lifestyles and population density, public interior spaces in various settings are analyzed. Public, interior spaces come in various typologies, such as, but not excluded to public transportation hubs, libraries, schools/universities, restaurants/cafeterias, supermarkets, and shopping centers. These typologies have been selected concerning their adaptive utility to space by different individuals. Additionally, these typologies are settings with a high rate of encounters having both momentary and temporary character, this kind of setting is known for their potential physicality regarding public behavior (Muller, 2018). When considering this aspect, the potential of tide + time waste management system in public, interior settings could rise exponentially (Puntillo, 2023).

6. RECYCLING AND UPCYCLING TECHNIQUES

Recycling and upgrading end-of-life items are some of the current hot topics in sustainability practices. Upcycling is defined as reusing and recreating functional interior spaces using currently discarded items. The term was coined in the mid-90s, combining the words 'up' and 'recycling'. The art of upcycling is literally welding trash into treasure (in this case, art). It is an alternative option at bottom of the waste hierarchy pyramid. It recovers raw materials or energy from products that waste is otherwise destined for landfill. As a result, upcycling decreases the amount of trash in landfill sites and increases the value of the creation. Upcycling can be economical if it is cheaper to upcycle something than make something new from entirely raw materials. The upcycling industry is rapidly expanding, and it is estimated to reach beyond \$24 billion. Consequently, consumers are seeking unique, locally hand-crafted items that are not mass-produced (Stanescu, 2021).

The term upcycling refers to the process of converting waste material or useless products into new materials or products of a better quality or a higher environmental value. Unlike recycling, upcycling involves processes, in which the discarded items are transformed into perfect condition using a particular method. A well-known example of upcycling is remanufacturing. It is a key solution for transforming the existing 'downcycling' into 'upcycling' of electronics, which is one of the common waste categories. Another example of upcycling is creating art objects by welding waste pieces into perfect condition. An important upcycling approach is given to the further use of plastic waste. As strategies to upcycle plastic waste, incineration with energy recovery, gasification, pyrolysis, biological, and catalytic cracking are investigated. (Zhao et al.2022)

6.1. Innovative Approaches

The design, construction, and operation of buildings have a significant impact on the environment. It is well-known that the construction industry consumes a substantial amount of physical and natural resources, energy and water, as well as generating waste and pollution. Real estate management plays a crucial role not only in considering waste management strategies already at the last stage of a building's life cycle, its demolition and waste removal, but also in planning the adequate recovery and recycling of materials, also in the maintenance

and operational checks of interior spaces. Moreover, the substantial amount of waste produced and poorly managed in buildings may create pathogen breeding grounds, be a fire hazard, and pose a safety risk. Considering the significant environmental impacts of buildings, their design, construction, daily operation and finally demolition, it is clear that there are many ways and possibilities to reduce the environmental negative effects of the interior spaces sector (Remøy et al., 2019). This can be done by sustainable design, sustainable facilities management, building life cycle assessment, suspension and innovative land use. To succeed, a consistent, integrated waste management strategy has to be implemented at the peri-urban level, where interconnected territories may better adapt to changes, and where sustainable waste management solutions find higher acceptance by implementing eco-innovative solutions and strategies in the waste sector according to the principles of the CE paradigm. An interdisciplinary assessment of the waste sector and territorial analyses are applied to foster land regeneration by improving a new resource-based economy (Amenta et al., 2019).

7. CASE STUDIES OF SUSTAINABLE INTERIOR DESIGN

In the United States, it is estimated that 75% of all solid waste is derived from building construction and demolition. Materials and the environment are correlated in a number of ways. Most materials have some negative impact on the environment, due to their extraction, manufacturing, transportation, installation, use, and disposal. The goal of a green or sustainable building is to reduce the impact of the built environment on human health and the natural environment throughout a building's life. Sustainable construction can significantly reduce the volume of pollution generated. This can improve biodiversity and air, soil, and water quality. The location and the sustainable renovation or demolition of existing buildings are important, too. Reducing unnecessary vehicle movements can reduce both climactic harm. (Cho et al., 2022)

The construction phase should focus on using formaldehyde-free wood products and no urea-formaldehyde adhesives. Limit the use of lumber treated with urea formaldehyde. Instead, use salvaged or reclaimed wood materials. Recycle and separate all wood scraps and hazardous materials. Use materials that are free from mercury, cadmium, and lead according to the federal guidelines and restrict the use of PVC (Dillard, 2010). The impact of the materials on the environment and their performance is of great importance. It is essential contractors are informed of the need for materials to be delivered on-site only when required, to be properly stored and handled to prevent their deterioration or damage to the environment. A suitable, self-conscious approach about the environment waste management by all the parties involved in the construction, architects, contractors and the client, might have a great benefit reducing the amount of waste. (Piccardo & Hughes, 2022)

7.1. Residential Spaces

Different strategies that can be implemented for waste management and circular economy in residential spaces with regards to the interior design, as a personal reflection, are: the promotion of upcycled objects alongside buying them; repair, or find someone to repair objects instead of replacing them with new ones; rent or borrow from others the things that are used once or rarely; destress the cleaning of objects, for example, with products from sugar, essential oils, vinegar and water, and with zero waste products; reduce and sorting organic waste through the implementation of composting; help promoting local vegetables, buying from local farmers, or

having a mini urban garden. Fixing things instead of replacing them can reduce the amount of waste disposed of as the overall discarding of objects, including about 500,000 tonnes of carpet waste, 75% of which could have been reused or recycled, a significant proportion of EEE waste ends up as landfill (Muller, 2018). This activity can be ‘destressed’ by interventions and practices that help to animate and demystify waste management and show it to be compatible with a clean and healthy living environment: for example, many plants and water used for aesthetic effects, odour, and temperature supply are generated by pultrusion, injection moulding and extrusion processes. (Balwan et al.2022)

8. TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR WASTE MANAGEMENT

Believing in technological solutions, especially the ones intended for societal and environmental benefits such as smart waste management applications, is a powerful driving force towards more sustainable and circular secondary practices. The city of the future, as imagined by today’s developers, is a place where devices, vehicles, and buildings are becoming increasingly interconnected and gaining the ability to sense, think, and behave. A particularly widespread vision for urban centres is smart concept living, referring to intelligent services and life support. Among others, in this context is the smart waste management framework, along with them, also referred to as the smart bin. Tradition tools, bins, and traffic management strategies are no longer alone in coping with environmental and economic costs of solid waste generation. In search for optimal solutions, engineers have proposed numerous solutions. As a result of rapid advances in information and communication technology, wireless sensor and the Internet of things technology have opened up new opportunities leading the invention of the smart bin. Nowadays, an array of public and private stakeholders choose intelligent bins and technological supportive interfaces as the main policy instrument for material recovery. Their adoption is seen as the most relevant tool in breaking linear material flow and initiating a more sustainable circular economy. A smart waste bin must consist of adequate filling detection mechanisms; therefore, they stand at the forefront of evaluation and design to increase overall efficiency in solid waste collection (Farooq et al.2022).

8.1. Smart Bins

There are different ways smart bins can be managed, which turned out to be a significant challenge when developing respective devices/appliances as these highly depend on the effectiveness of the practices. This resulted in two different technologies regarding collections, both of which are user’s portable one. To put it differently, in the first case, bins are collected at their homes and taken to preestablished locations, where all detectable data regarding bin is updated (Farooq et al.2022). On the other hand, there is another approach where the user’s bins are collected in a special portable bin, enabling an easier way for transporting waste bins to the respective static bin. Unlike collection methodologies, the second variable technological approach is regarding bin stock level management. Just like with collections, these interventions are also user-dependent, some of them even both user and corporate dependent.

9. CIRCULAR ECONOMY BUSINESS MODELS

Due to the linear economic model, industries extract raw materials, produce goods, and dispose waste. Waste streams are somehow handled and recycled. Efforts are taken to reduce the consumed energy for such activities. These actions, however, will always result in more natural resources depleted, and more energy consumed, than if the entire flow of resources could have

been perpetually and directly looped back into the economy (Horvath et al., 2019). In order to be able to better estimate the problem of waste handling, the path of the extracted resources must be impeccably tracked throughout the economy. To assert that this mouthful of a task is merely difficult would be an understatement. The economy of modern economies can only be extended so far, and even within its grasp, the task would still largely require the cooperation of all-if not almost all-participating companies. It becomes trivial then to appreciate that the profitability of the reigning economic regime largely lies in outsourced externalities. In other words, it is still cheaper to waste resources than to hyperbolically track their flow and strategically recover them. This is especially true if such efforts would require managing the resource flow outside the specters of daily business. Furthermore, these deficiencies fail to mention the market disturbances that could arise in the case of a closed loop cycle. Despite these complexities, the planet can no longer afford to conduct its business-as-usual.

9.1. Sharing Economy Platforms

The sharing economy involves the peer to peer sharing of goods and services, often facilitated through online platforms, with goals of reducing consumer waste and promoting social behaviour. The sharing economy has been linked with increasing rates of consumerism and the creation of more waste. However, its practices have been nurtured as a more sustainable solution to also addressing the world's finite resources. The practices of the sharing economy significantly have been increased in the depository premises by taking place on a more local scale and thus act on the personal consumption behaviour of the individual, as with buying second hand. Supported by digital networks, meshing of platforms enables access to a wider network of locacommunities. Practices of peer-to-peer sharing economies/services, either facilitated by an online platform or not. Propose that the integration of sharing economy practices in interior spaces, particularly in the home, can significantly increase led to the interior space wastage is perceived, managed, and prevented in individual living areas. Examine how informal personal economies (such as borrowing and lending) or formal economies (such as renting and leasing), facilitated through a platform, inform waste management cultures in household interior spaces. Provide possible implications of this study for policy making, industry professionals, and future research. The continuous rise of sharing economy practices, driven by digital platforms, has expanded to broader economic sectors– meshing a local sustainable sharing economy (Horvath et al., 2019). As a result, sharing practices are adopted more frequently on a local level. Initiatives, such as carpooling, locally-supported agriculture, or the community library are fostering neighbourhood involvement, and play a significant role in waste reduction.

10. REGULATORY FRAMEWORKS AND POLICIES

As the Waste Management and Circular Economy practices in interior spaces are an expanding activity, more researchers and practitioners are dealing with different aspects and policies for their continuing progress. Regarding to the current European policy, there is surely a current and accurate one applied as there is legislation in place to implement and enforce it. Nevertheless, law and policy are subject to continuous improvement and adjustment, and the conclusion of the two recent reports of the European Environment Agency state that there are “persisting implementation gaps” and there is “a pressing need to address policy disconnects and inconsistencies”. Therefore, this study does not mean to force or claim that everything done

in the field of Waste Management in Interior Spaces is not enough, appropriate or successful, especially considering the lack of proper monitoring and research on the topic, which has allowed for mere individual impressions until now. Furthermore, as waste is a very local issue and it is managed at the level of the municipalities, practices and knowledge will remain at a fragmented level, restricting holistic approaches and policies (Milios, 2018).

10.1. Local and International Standards

Different approaches to collect information have been used, centered on literature review, ad-hoc data collection and stakeholder involvement through workshops and interviews. Sounds promising. Pick-up could be to gather information from data collection concerning the diffusion of new products in the EU market and the associated environmental impacts - or to further involve key stakeholders, such as industry, manufacturers, business associations or environmental NGOs, through the organization of workshops, focus groups or interviews to get their view. At the same time, the collection of stakeholders' data could help to identify ongoing standardization needs to be coordinated or prioritized. At first sight, each product life cycle appears to involve about 3 or 4 standardization bodies in an uncoordinated way. No systematic action has been identified at the European level during the product life cycle. Alright. Would you agree the next sentence is a justified approach to be applied, providing results or indications, of data having been collected on any of the items listed? (Schaubroeck et al.2021)

11. FUTURE TRENDS AND INNOVATIONS

New building specifications, especially in the wake of COP26 and a new era of built environment targets, embed sourcing, construction, use and end-of life-in novel practices (Muller, 2018). With over 80% of buildings conceived by 2050 already built, a careful, anticipatory parsing of transformation – from testing reuse underpinnings to mourning escalated demolition – crystallises their life course finality (Lynch, 2022). The focus is both material and visual: from the physics of deconstructing large structures, waste production and energy consumption, to the poetics of dust, techtonics and material attribute enhancement/sustainability. Circularity is accompanied by an awareness that all things must end; standing time and mutual lifepaths are a backdrop to strategies for heightened entropy. At the end of their productive lives, large high-rise office buildings predominantly made of reinforced concrete eventually face an under-appreciated dilemma: the cure is seemingly worse than the disease. The embodied energy and carbon of tall structures are uniquely high, while the feasibility, expediency and cost-competitiveness of returning them to flat ground at accessible building industry speeds remains controversial, at best (Born & Ciftci, 2024).

12.1. Internet of Things (IoT) in Waste Management

Circular economy and advances in IoT and cloud technologies are transforming the ways waste is managed in interior spaces. IoT ensures that objects or items of things are interconnected with each other and have the ability to exchange data. IoT technology monitors the existing waste in the bins and trucks vehicles, and then decides the vehicle's optimal route for the waste collection. Ensuring an attractive, healthy, and comfortable indoor environment is an important issue in achieving better well-being of the people. Introducing indoor plants not only purify the indoor air and remove toxic volatile compounds effectively, but also improve well-being. (Cheah et al.2022)

Circular economy practices have highlighted the production and consumption processes. The goal of stakeholders is to consider how much secondary raw material can be obtained from the existing waste items so that it can put back into the economic cycle. Rapid increases in the data processing and computing sectors have enabled waste items to be transformed into different forms. Daily waste items in interior spaces can be transformed into energy (Melakessou et al., 2020). This can be converted into heat energy and used for heating purposes especially during the winter season. A bit of waste can be transformed into manure, which can be then used in the garden or grown flowers tissue culture. Assuming that the interior space is well connected to the Internet because of the development in the IoT sector the real-time monitoring waste management system is applied to the indoor waste items.

Smart and comfortable living quarters are one of the important processes of a smart city. Interior waste management in the smart city provides its citizens with a great comfortable and healthy environment to work, study, and live. Indoor waste indoor air and biodiversity conservation are the two of the most effective factors in hitting the balance of eco-circles. Moving –dimensioned plants can be grown around the existing waste bins in the living quarters so that they can absorb the good air and bad (Likotiko et al., 2017). On the other hand, the good looking of the plants gives people peace of mind.

12. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This comprehensive green guide to litter education emerges as a culmination of an extensive two-year study dedicated to thoroughly investigating the litter problems encountered in both the northern and southern counties, as well as the specific issues faced in the counties of Fermanagh and Tyrone. Throughout this meticulous research process, significant actions were taken to develop an appropriate and effective green litter education programme. The program's impact was carefully monitored, ensuring that evaluations of all aspects of the project were conducted rigorously. In today's world, litter constitutes an increasingly substantial proportion of waste generated in any given society, and it is progressively evolving into a major troubling issue, particularly concerning general pollution. Additionally, the sheer amount of resources from the community that is required to attempt to keep this litter phenomenon under control is a growing concern. The Control of Pollution Act has mandated that all local authorities within the UK bear the responsibility of maintaining clean and presentable neighbourhoods for their residents. Essential to the successful execution of any waste management strategy is the level of public awareness, the prevailing attitude, and the actions taken by individuals and communities concerning waste management practices. In various instances, local concern regarding waste disposal has often surfaced only in response to the prospect of a nearby landfill expansion that poses a threat to the aesthetic appeal of the area rather than presenting an immediate environmental hazard. The challenge of developing viable and sustainable waste management strategies is indeed enormous, especially given the relatively limited powers that local communities possess in this specific context. It is interesting to note that most local communities typically transition through a series of distinct stages during their engagements with waste management, often beginning with outright opposition to any proposed waste disposal facility. Despite these challenges, the importance of addressing this issue has driven committed individuals to dedicate many years to conducting research and engaging in persistent campaigning for more responsible waste management practices. This dedication has resulted in

the identification of numerous significant shortcomings within the existing waste management strategies. Before any effective efforts can be made to change the attitudes of the public regarding waste disposal, it is crucial that satisfactory facilities be established and made readily accessible. It is ultimately both futile and nonsensical to preach to individuals about the necessity to minimize waste and prioritize recycling efforts when such essential facilities are not yet in place and readily available for their use. In light of this, the emphasis must be placed on creating the infrastructure that enables individuals to make environmentally conscious choices that align with effective waste management.

REFERENCES

- Amenta, L., Attademo, A., Remøy, H., Berruti, G., Cerreta, M., Formato, E., ... & Russo, M. Managing the transition towards circular metabolism: Living labs as a co-creation approach. *Urban Planning*, 4(3), 5-18, 2019
- Androniceanu, A., Kinnunen, J., & Georgescu, I. Circular economy as a strategic option to promote sustainable economic growth and effective human development. *Journal of International Studies* 14(1), 60-73, 2021
- Ashour, M., Mahdiyar, A., Haron, S. H., & Hanafi, M. H. Barriers to the practice of sustainable interior architecture and design for interior renovations: A Parsimonious-Cybernetic Fuzzy AHP approach. *Journal of Cleaner Production*, 366, 132958, 2022
- Balwan, W. K., Singh, A., & Kour, S. 5R's of zero waste management to save our green planet: A narrative review. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 10(1), 7-11, 2022
- Born, K., & Ciftci, M. M. The limitations of end-of-life copper recycling and its implications for the circular economy of metals. *Resources, Conservation and Recycling*, 200, 107318, 2024
- Cheah, C. G., Chia, W. Y., Lai, S. F., Chew, K. W., Chia, S. R., & Show, P. L. Innovation designs of industry 4.0 based solid waste management: Machinery and digital circular economy. *Environmental Research*, 213, 113619, 2022
- Cho, N., El Asmar, M., & Aldaaja, M. An analysis of the impact of the circular economy application on construction and demolition waste in the United States of America. *Sustainability*, 14(16), 10034, 2022
- da Silva, T. R., de Azevedo, A. R. G., Cecchin, D., Marvila, M. T., Amran, M., Fediuk, R., ... & Szlag, M. Application of plastic wastes in construction materials: A review using the concept of life-cycle assessment in the context of recent research for future perspectives. *Materials*, 14(13), 3549, 2021

- Dillard, C. M. Case study of a renovation of a satellite college foodservice concept according to the United States Green Building Council's LEED rating system. Oklahoma State University, 2010
- Emon, M. M. H., Khan, T., Rahman, M. A., Hamid, A. B. A., & Yaakub, N. I. GreenTech revolution: Navigating challenges and seizing opportunities. In AI and green technology applications in society (pp. 63-90). IGI Global Scientific Publishing, 2025.
- Farooq, M., Cheng, J., Khan, N. U., Saufi, R. A., Kanwal, N., & Bazkiaei, H. A. Sustainable waste management companies with innovative smart solutions: a systematic review and conceptual model. *Sustainability*, 14(20), 13146, 2022
- Florez, L., Castro, D., & Irizarry, J. Measuring sustainability perceptions of construction materials. *Construction innovation*, 13(2), 217-234, 2013
- Horvath, B., Khazami, N., Ymeri, P., & Fogarassy, C. Investigating the current business model innovation trends in the biotechnology industry. *Journal of Business Economics and Management*, 20(1), 63-85, 2019
- Jamei, E., & Vrcelj, Z. Biomimicry and the built environment, learning from nature's solutions. *Applied sciences*, 11(16), 7514, 2021
- Kineber, A. F., Massoud, M. M., Hamed, M. M., & Qaralleh, T. J. O. Exploring sustainable interior design implementation barriers: A partial least structural equation modeling approach. *Sustainability*, 15(5), 4663, 2023
- Kumar, P., Singh, A. B., Arora, T., Singh, S., & Singh, R. Critical review on emerging health effects associated with the indoor air quality and its sustainable management. *Science of The Total Environment*, 872, 162163, 2023
- Kurniawan, T. A., Meidiana, C., Goh, H. H., Zhang, D., Othman, M. H. D., Aziz, F., ... & Ali, I. Unlocking synergies between waste management and climate change mitigation to accelerate decarbonization through circular-economy digitalization in Indonesia. *Sustainable Production and Consumption*, 46, 522-542, 2024
- Kurniawan, T. A., Othman, M. H. D., Liang, X., Goh, H. H., Gikas, P., Kusworo, T. D., ... & Chew, K. W. Decarbonization in waste recycling industry using digitalization to promote net-zero emissions and its implications on sustainability. *Journal of environmental management*, 338, 117765, 2023
- Likotiko, E. D., Nyambo, D., & Mwangoka, J. Multi-agent based IoT smart waste monitoring and collection architecture. arXiv preprint arXiv:1711.03966, 2017
- Lynch, N. Unbuilding the city: Deconstruction and the circular economy in Vancouver. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 54(8), 1586-1603, 2022

- Mao, Y., Li, P., & Hao, P. The effects of wooden furniture color, floor material, and age on design evaluation, visual attention, and emotions in office environments. *Buildings*, 14(6), 1498, 2024
- Marieta, C., Guerrero, A., & Leon, I. Municipal solid waste incineration fly ash to produce eco-friendly binders for sustainable building construction. *Waste Management*, 120, 114-124, 2021
- Melakessou, F., Kugener, P., Alnaffakh, N., Faye, S., & Khadraoui, D. Heterogeneous sensing data analysis for commercial waste collection. *Sensors*, 20(4), 978, 2020
- Milios, L. (2018). Advancing to a Circular Economy: three essential ingredients for a comprehensive policy mix. *Sustainability science*, 13(3), 861-878, 2018
- Mohsen, M. S., & Matarneh, R. Exploring the interior designers' attitudes toward sustainable interior design practices: The case of Jordan. *Sustainability*, 15(19), 14491, 2023
- Muller, J. The Architecture of Waste. Designing new avenues for public engagement with trash. *Ri-Vista. Research for landscape architecture*, 16(1), 36-53, 2018
- Piccardo, C., & Hughes, M. Design strategies to increase the reuse of wood materials in buildings: Lessons from architectural practice. *Journal of Cleaner Production*, 368, 133083, 2022
- Puntillo, P. Circular economy business models: Towards achieving sustainable development goals in the waste management sector—Empirical evidence and theoretical implications. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 30(2), 941-954, 2023
- Remøy, H., Wandl, A., Ceric, D., & Timmeren, A. V. Facilitating circular economy in urban planning. *Urban Planning*, 4(3), 1-4, 2019
- Schaubroeck, T., Schaubroeck, S., Heijungs, R., Zamagni, A., Brandão, M., & Benetto, E. Attributional & consequential life cycle assessment: definitions, conceptual characteristics and modelling restrictions. *Sustainability*, 13(13), 7386, 2021.
- Shi, L., Chen, H., Meng, H., Cheng, R., Dai, J., Zheng, X., & Zhang, Z. How environmental policy impacts technology adoption: A case of landfill leachate. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127484, 2021
- Stanescu, M. D. State of the art of post-consumer textile waste upcycling to reach the zero waste milestone. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(12), 14253-14270, 2021
- Stefanakis, A. I., Calheiros, C. S., & Nikolaou, I. Nature-based solutions as a tool in the new circular economic model for climate change adaptation. *Circular Economy and Sustainability*, 1, 303-318, 2021

- Varpa, J., Autio, M., & Autio, J. Sustainable living: Young adults prolonging the material life cycle of objects through the appreciation of used furniture, interiors, and building design. *Circular Economy and Sustainability*, 4(4), 2559-2578, 2024
- Wang, Z. H. A survey of factors and life cycle assessment in selection of green construction materials. *Journal of Computational Intelligence in Materials Science*, 1, 023-033, 2023
- Wiprächtiger, M., Rapp, M., Hellweg, S., Shinde, R., & Haupt, M. Turning trash into treasure: An approach to the environmental assessment of waste prevention and its application to clothing and furniture in Switzerland. *Journal of Industrial Ecology*, 26(4), 1389-1405, 2022
- Zhao, X., Korey, M., Li, K., Copenhaver, K., Tekinalp, H., Celik, S., ... & Ozcan, S. Plastic waste upcycling toward a circular economy. *Chemical Engineering Journal*, 428, 131928, 2022

**NATIONWIDE STUDY ON THE SHIFT FROM CLSI TO EUCAST IN THE
ANTIBIOTIC RESISTANCE PATTERNS OF *ESCHERICHIA COLI* ISOLATED
FROM WOMEN WITH URINARY TRACT INFECTIONS**

**İDRAR YOLU ENFEKSİYONU OLAN KADINLARDAN İZOLE EDİLEN
ESCHERICHIA COLI'NİN ANTİBİYOTİK DİRENÇ MODELLERİNDE CLSI'DEN
EUCAST'A GEÇİŞ ÜZERİNE ÜLKE ÇAPINDA BİR ÇALIŞMA**

DOÇ. DR. İHSAN HAKKI ÇİFTÇİ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Sakarya University, Sakarya,
Türkiye, ihciftci@sakarya.edu.tr-0000-0002-9812-134X

DR. ÖĞR. ÜYESİ ELMAS PINAR KAHRAMAN KILBAŞ

Medical Laboratory Techniques Program, Vocational School of Health Services, Fenerbahçe
University, İstanbul, Türkiye, elmas.kahraman@fbu.edu.tr-10-0000-0003-1348-625X

PROF. DR. AHMET ALİM

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Turgut Özal University, Malatya,
Türkiye, ayten.gunduz@ozal.edu.tr-0000-0003-2031-9978

DOÇ. DR. ALİ KORHAN SİĞ

University of Health Sciences Türkiye, Balıkesir Atatürk City Hospital, Balıkesir, Türkiye,
dr_korhan@hotmail.com-0000-0003-2907-257X

DR. ÖĞR. ÜYESİ AYŞE ÖZKAÇMAZ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Yüzüncü Yıl University, Van,
Türkiye, ayseozkacmaz@yyu.edu.tr-0000-0002-0833-1854

DOÇ. DR. AYTEN GÜNDÜZ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Cumhuriyet University, Sivas,
Türkiye, ahmetalem@cumhuriyet.edu.tr-0000-0001-9577-5965

DOÇ. DR. BARIŞ GÜLHAN

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Binali Yıldırım University,
Elazığ, Türkiye, bgulhan@erzincan.edu.tr-0000-0002-2605-1282

PROF. DR. BİLGE SÜMBÜL

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Bezmialem Vakıf University,
İstanbul, Türkiye, bsumbul@bezmialem.edu.tr-0000-0002-8768-3777

PROF. DR. CÜNEYT ÖZAKIN

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Uludağ University, Bursa,
Türkiye, ozakin@uludag.edu.tr-0000-0001-5428-3630

PROF. DR. DEVRİM DÜNDAR

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Kocaeli University, Kocaeli,
Türkiye, devrimd@kocaeli.edu.tr-0000-0003-2073-7168

DR. ÖĞR. ÜYESİ EMEK TÜRKEKUL ŞEN

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Afyonkarahisar Sağlık Bilimleri
University, Afyonkarahisar, Türkiye, emek276@hotmail.com-0000-0002-4328-7190

UZM. DR. ENGİN KARAKEÇE

Department of Microbiology, Sakarya University Research and Educational Hospital,
Sakarya, Türkiye, enginkarakece@gmail.com-0000-0003-1941-621X

DOÇ. DR. ESRA ÖZKAYA

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Karadeniz Teknik University,
Trabzon, Türkiye, esraozkaya@ktu.edu.tr-0000-0003-1673-9101

PROF. DR. FADİLE YILDIZ ZEYREK

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Harran University, Sanlıurfa,
Türkiye, fadilezeyrek@harran.edu.tr-0000-0001-7386-9944

DOÇ. DR. FİLİZ ORAK

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Kahramanmaraş Sütçü İmam
University, Kahramanmaraş, Türkiye, drfilizorak@hotmail.com-0000-0001-5153-7391

PROF. DR. FÜSUN CÖMERT

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Bülent Ecevit University,
Zonguldak, Türkiye, fusun.comert@beun.edu.tr-0000-0003-0161-6897

PROF. DR. GÜL DURMAZ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Osman Gazi University,
Eskişehir, Türkiye, gdurmaz@ogu.edu.tr-0000-0002-4534-8620

DOÇ. DR. GÜLGÜN YENİŞEHİRLİ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Gaziosmanpaşa University,
Tokat, Türkiye, gulgun.yenisehirli@gop.edu.tr-0000-0001-7030-0752

PROF. DR. HAKAN TEMİZ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Dicle University, Diyarbakır,
Türkiye, hakan.temiz@dicle.edu.tr-0000-0002-3402-2625

PROF. DR. HATİCE TÜRK DAĞI

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Selçuk University, Konya,
Türkiye, haticeturkdagi@yahoo.com-0000-0002-0291-4987

DR. İMDAT KILBAŞ

Doctorate Program in Medical Microbiology, Institute of Health Sciences, Istanbul
University, Istanbul, Türkiye, imdtkllbs@gmail.com-0000-0002-8909-4140

PROF. DR. METİN DOĞAN

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Necmettin Erbakan University,
Konya, Türkiye, metindogan@erbakan.edu.tr-0000-0003-3471-4768

PROF. DR. MUHAMMET GÜZEL KURTOĞLU

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Abant İzzet Baysal University,
Bolu, Türkiye, kurtoglumg@hotmail.com-0000-0002-7057-2501

PROF. DR. MUHAMMED HAMİDULLAH UYANIK

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Erzurum Atatürk University,
Erzurum, Türkiye, mhuyanik@atauni.edu.tr-0000-0002-0759-9832

PROF. DR. MÜCAHİDE ESRA KOÇOĞLU

Medeniyet University, Göztepe Training and Research Hospital, Department of Medical
Microbiology, Istanbul, Türkiye, esra.kocoglu@medeniyet.edu.tr-0000-0002-2860-1794

PROF. DR. NURİ KİRAZ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Namık Kemal University,
Tekirdağ, Türkiye, nkiraz@nku.edu.tr-0000-0001-7415-190X

UZM. DR. ÖZLEM KOCA

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Necmettin Erbakan University,
Konya, Türkiye, drozlemkoca@gmail.com-0000-0002-7167-7794

UZM. DR. ÖZLEM YOLDAŞ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Altınbaş University, İstanbul,
Türkiye, ozlem.yoldas@altinbas.edu.tr-0000-0002-0219-6700

DOÇ. DR. PINAR SAĞIROĞLU

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Erciyes University, Kayseri,
Türkiye, pinarsagioglu@erciyes.edu.tr-0000-0001-6742-0200

PROF. DR. SABAHAT AKSARAY

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Sağlık Bilimleri University,
İstanbul, Türkiye, sebahat.aksaray@sbu.edu.tr-0000-0002-0552-1337

DOÇ. DR. SADIK AKGÜN

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Adıyaman University, Adıyaman,
Türkiye, sakgungizem@hotmail.com-0000-0002-1413-0450

PROF. DR. SELÇUK KAYA

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Katip Çelebi University, İzmir,
Türkiye, selcuk.kaya@ikcu.edu.tr-0000-0002-8637-6345

PROF. DR. SEMRA KURUTEPE

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Celal Bayar University, Manisa,
Türkiye, semrakurutepe@yahoo.com-0000-0003-4031-8956

PROF. DR. YELİZ ÇETİNKOL

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Ordu University, Ordu, Türkiye,
dryelizcetinkol@gmail.com-0000-0003-4940-4498

PROF. DR. YELİZ TANRIVERDİ

Department of Medical Microbiology, Faculty of Medicine, Ondokuz Mayıs University,
Samsun, Türkiye, yeliz.cayci@omu.edu.tr-0000-0002-9251-1953

ABSTRACT

This study was carried out to investigate whether the antibiotic resistance profile of *Escherichia coli* obtained from female patients with urinary tract infections is changed by the transition from Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI) to European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (EUCAST). This retrospective study covered two separate one-year periods between in 2012 and 2021. A total of 30 clinical microbiology laboratories in Turkey were included in the study. Bacterial identification was performed using the VITEK-2 GN ID card and MALDI-TOF automated systems. Antimicrobial susceptibility of *E. coli* strains was tested using the Kirby-Bauer technique and VITEK-2 AST cards. Double-disk synergy and double-disk diffusion tests were used for Extended Spectrum Beta-Lactamase (ESBL) detection. The study was conducted on bacterial strains obtained from patients aged 18-65. Antibiotic susceptibility was assessed using various antibiotic disks. As a result of this study, piperacillin, amoxicillin+clavulanic acid, cefazolin, piperacilin, cefepime and ceftriaxone resistance rates and Extended Spectrum Beta-Lactamase rates increased, while the percentages of resistance to other antibiotics decreased in the transition from CLSI guideline to EUCAST

guideline, and Plan Rational Drug Use policies. The positive marks of CLSI to EUCAST transition and National Action Plan Rational Drug Use applications have started to reflect on antibiotic susceptibility results. In conclusion, changes in antibiotic susceptibility demonstrate the impact of guideline changes and Rational Drug Use policies, and it has been demonstrated that such regulations can play an important role in combating antibiotic resistance.

Keywords: *Escherichia coli*, urinary tract infections, antibiotic resistance, rational drug use policies

ÖZET

Bu çalışma, idrar yolu enfeksiyonu olan kadın hastalardan elde edilen *Escherichia coli*'nin antibiyotik direnç profilinin Klinik ve Laboratuvar Standartları Enstitüsü'nden (CLSI) Avrupa Antimikrobiyal Duyarlılık Testleri Komitesi'ne (EUCAST) geçişle değişip değişmediğini araştırmak amacıyla gerçekleştirildi. Bu retrospektif çalışma 2012-2021 yılları arasındaki iki ayrı bir yıllık dönemi kapsadı. Çalışmaya Türkiye'deki toplam 30 klinik mikrobiyoloji laboratuvarı dahil edildi. Bakteriyel identifikasyon VITEK-2 GN ID kartı ve MALDI-TOF otomatize sistemleri kullanılarak yapıldı. *E. coli* suşlarının antimikrobiyal duyarlılığı Kirby-Bauer tekniği ve VITEK-2 AST kartları kullanılarak test edildi. Genişlemiş Spektrumlu Beta-Laktamaz (ESBL) tespiti için çift disk sinerji ve çift disk difüzyon testleri kullanıldı. Çalışma 18-65 yaş aralığındaki hastalardan elde edilen bakteri suşları üzerinde gerçekleştirildi. Antibiyotik duyarlılığı çeşitli antibiyotik diskleri kullanılarak değerlendirildi. Bu çalışma sonucunda, piperasilin, amoksisilin+klavulanik asit, sefazolin, piperasilin, sefepim ve seftriakson direnç oranları ve Genişletilmiş Spektrumlu Beta-Laktamaz oranları artarken, diğer antibiyotiklere karşı direnç yüzdeleri CLSI kılavuzundan EUCAST kılavuzuna geçiş sonrasında ve Akılcı İlaç Kullanımı politikaları ile azaldı. CLSI'dan EUCAST'a geçişin ve Ulusal Eylem Planı Akılcı İlaç Kullanımı uygulamalarının olumlu izleri antibiyotik duyarlılığı sonuçlarına yansımaya başladı. Sonuç olarak, antibiyotik duyarlılığı üzerindeki değişimler, kılavuz değişiklikleri ve Akılcı İlaç Kullanımı politikalarının etkisini göstermekte olup, bu tür düzenlemelerin antibiyotik direnciyle mücadelede önemli bir rol oynayabileceği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: *Escherichia coli*, idrar yolu enfeksiyonları, antibiyotik direnci, akılcı ilaç kullanım politikaları

1. INTRODUCTION

Urinary tract infections (UTI) are the name given to infections that occur in the urethra, bladder or kidneys. UTI is usually caused by bacteria. On average, 50% of women experience a urinary tract infection at least once in their lifetime. Additionally, UTIs have different rates of recurrence after appropriate antibiotic treatment, depending on the site of infection. On average, 20% of women who have a UTI experience reinfection within six months. *Escherichia coli*, one of the most important members of the Enterobacteriaceae family, is responsible for 90% of all UTIs diagnosed in outpatients and approximately two-thirds of patients with hospital-acquired UTIs [1,2]. Uncomplicated cystitis is the most common type of UTI in female patients and has the highest recurrence rate [3].

UTIs are relatively benign but pose a great burden to women due to their symptoms that reduce quality of life. Acute and recurrent UTI creates social problems in terms of financial burden and workforce losses incurred during diagnosis and treatment. Therefore, revealing local and global potential resistance models is very important in deciding on empirical treatment and promoting the reduction of antibiotic resistance (AR) of *E. coli* and treatment costs.

The bacterial resistance to some antibiotics currently used to treat community-acquired UTIs is increasing worldwide [4]. It has been reported by the World Health Organization (WHO) that more than 20% of *E. coli* isolates, the most common bacteria in urinary tract infections, are resistant to both ampicillin and co-trimoxazole and fluoro-quinolones [5]. Therefore, to limit the increase in AR, recommendations on the management of UTIs are regularly updated by national and international health authorities and the relevant scientific community [6,7]. The definition of Rational Drug Use (RDU) was made by the World Health Organization for the first time in 1985 [8]. In 2013, it gathered the studies to be carried out on RDU under the framework of an action plan, and as of 2014, the "National Action Plan (NAP) for RDU" was put into practice in Turkey. The "RDU NAP 2019-2023 Workshop" was carried out and prevailing practices were updated in 2022. In this process, the sale of non-prescription drugs, especially antibiotics, in pharmacies was prevented, and the drug tracking system and e-prescription system were harmonized with this NAP [9]. Also, It is expected that the possible resistance profiles will have changed with the measures taken by NAP RDU.

In order to prevent treatment failures caused by resistance problems; standardization should be ensured in the conduct, interpretation and reporting of antibiotic susceptibility tests (AST). Standardization; It is important to determine resistance profiles on a national basis, to compare resistance profiles in international platforms and to take part in international surveillance systems. For this purpose, there are two standards adopted for AST in the world. One of these standards is the "Clinical Laboratory Standards Institute" (CLSI), which was used in our country until January 2015, and the other is the "European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing" (EUCAST) recommendations, which have been used in many European Union member countries and our country since January 2015. It is possible that the probable resistance profiles have changed with the use of EUCAST standards in our country. These changes may occur due to differences in utilizing principles between the two guidelines.

This study was conducted to researching whether the AR profile of *Escherichia coli* isolated from women with UTIs is changed by the transition from CLSI to EUCAST and RDU policies. In addition, it is aimed to scrutinize the new epidemiological data that emerged with changing practices over time.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

2.1. Ethical Declaration

This study was approved by the Dean's Office of the Faculty of Medicine of XXX University Rectorate, Faculty Non-Interventional Ethics Committee on 02.06.2022 with the number E71522473-050.01.04-136862-140.

2.2. Institutions and data collection

The present retrospective study was carried out over a one-year period, from January-December, in both 2012 and 2021. In the study, patient samples from a total of 30 clinical microbiology laboratories from all geographical regions in Turkey were analyzed. When starting the study, the microbiologists involved in the study were informed, ideas about the

study were exchanged, and suggestions were taken into consideration during planning. The data collected consists only of urine culture and antimicrobial sensitivity test findings. Personal identifying data of the patients were not used in the study.

2.3. Identification and susceptibility testing of *E. coli* strains

Blood and MacConkey agar were used to grow bacteria from urine samples. The culture was considered positive for a UTI if the media grew more than 10⁵ colony-forming units/mL of a single bacterial species. Bacterial identification was performed using the VITEK 2 GN ID card (bio-Mérieux, France), Phoenix ID-AST combo panel (Becton Dickinson, USA) and VITEK MS, MALDI-TOF (bio-Mérieux, France) and conventional methods (culture, morphology and biochemical tests). The antimicrobial sensitivities of the *E. coli* strains of antimicrobial susceptibility were tested using the Kirby–Bauer standard disk diffusion technique, VITEK 2 AST card (bio-Mérieux, France), and Phoenix ID-AST combo panel (Becton Dickinson, USA). The antimicrobial susceptibility tests based on 2010 Clinical and Laboratory Standards Institute guidelines (CLSI S100 M20), Clinical breakpoints-bacteria v-12.0 and EUCAST Version 11.0, 2021. AST quality control was performed with CLSI recommended reference American Type Culture Collection strains. Ampicillin (AMP), amoxicillin/clavulanic acid (AMC), piperacillin (PIP), piperacillin-tazobactam (TZP), cefazolin (CFZ), ceftiofur (CFX), ceftriaxone (CRO), trimethoprim/sulfamethoxazole (SXT), gentamicin (GN), cefepime (CPE) and ciprofloxacin (CIP) disks were used to perform ASTs of bacteria. A total of 35,569 *E. coli* strains were isolated from patients aged between 18 and 65 years and their identification and ASTs were performed.

2.4. Screening for extended-spectrum beta-lactamase

ESBL was screened with double disk synergy test (DDST) and double disk diffusion test (DDDT). In the experiment, plates were prepared according to standard disk diffusion test procedures. In DDST, CAZ and CRO (30 µg each) disks were placed 25 mm away from an AMC disk (20/10 µg) center to center. In DDDT application, CTX and CAZ disks with and without clavulanic acid were used. A significant extension of the edges of the inhibition zone towards the disc containing clavulanic acid was considered positive for ESBL production. Additionally, it was observed whether an extension of at least 5 mm of the inhibition zone occurred after the addition of clavulanic acid to CTX and CAZ discs.

2.5. Statistical analysis

Study results were expressed as mean, range, percentage and standard deviation. Descriptive statistics and one-way tests of variance etc. Statistical analyzes were conducted with SPSS 25.0 (SPSS Inc, Chicago, USA). The significance level was determined as $p < 0.05$. This research was based on laboratory data and did not involve direct participation of patients. All databases containing sample types and patient data were recorded with the help of laboratory request forms.

3. RESULTS AND EVALUATION

A total of 35569 *E. coli* isolates isolated from the urine of female patients treated in the outpatient clinic were studied. In this study, only CIP, PIP, AMC, CFZ, CPE and CRO resistance rates and ESBL rates increased, while the percentages of resistance to other antibiotics decreased in the transition from CLSI guideline to EUCAST guideline and RDU policies. The increase in PIP resistance and ESBL ratio were found statistically significant

($p=0.03$; $p=0.04$ respectively). In addition, it was determined that the SXT resistance value decreased, but this decrease was not statistically significant ($p=0.09$). When evaluated in terms of empirical treatment options; *E. coli* isolates showed high rates of resistance to each of the drugs studied, except for TZP, CFX, and GN, which were more than 80% susceptible in vitro. The distributions of the mean nationwide resistance rates for 2012 and 2021 and the antibiotic breakpoints for CLSI (2012) and EUCAST (2021) are shown in Chart 1. In addition, the mean prevalence of ESBL-producing *E. coli* in 2012 and 2021 were $20.56\% \pm 6.44$ and $25.13\% \pm 9.16$ respectively ($p=0.04$).

Chart 1. Antimicrobial resistance rates of *E. coli* in 2012 (CLSI) and 2021 (EUCAST)

AA	Year	Mean (%)	Min-max (%)	IQR**	p	BP value***
SXT	2012	39.46 ± 7.61	12.99-52.16	9.88	0.09	≤ 10
	2021	33.19 ± 6.65	21.39-55.24	6.98		< 11
CIP	2012	28.26 ± 6.88	12.99-44.90	8.80	0.90	≤ 20
	2021	28.74 ± 7.98	12.06-45.66	9.74		< 22
AMP	2012	49.06 ± 14.34	20.47-75.86	20.10	0.39	≤ 13
	2021	41.19 ± 28.84	18.28-83.05	50.8		< 14
AMC	2012	27.21 ± 13.95	8.33-74.00	15.86	0.42	≤ 13
	2021	30.14 ± 11.74	12.93-76.72	8.42		< 19
PIP	2012	33.56 ± 11.34	15.14-54.13	21.03	0.03*	≤ 17
	2021	53.69 ± 23.62	28.68-86.96	42.51		< 20
TZP	2012	13.52 ± 6.54	5.82-26.99	16.94	0.01*	≤ 17
	2021	9.21 ± 5.98	1.80-29.15	4.62		< 20
CRO	2012	24.65 ± 7.41	11.16-39.08	10.07	0.78	≤ 19
	2021	25.89 ± 9.73	11.20-52.60	11.33		< 22
CFZ	2012	35.95 ± 16.59	16.15-72.88	14.87	0.20	≤ 19
	2021	47.28 ± 28.51	23.89-100.00	38.71		< 23
CFX	2012	16.10 ± 9.24	3.86-37.73	16.72	0.01*	≤ 14
	2021	10.10 ± 4.84	2.54-23.36	5.68		< 19
CPE	2012	25.04 ± 12.05	6.25-55.17	19.86	0.94	≤ 14
	2021	25.35 ± 16.67	6.03-66.67	15.19		< 24
GN	2012	17.68 ± 5.40	5.80-31.12	5.88	0.01*	≤ 12
	2021	13.19 ± 5.17	5.20-27.80	5.98		< 17
ESBL	2012	20.56 ± 6.44	8.86-28.70	10.03	0.04*	NA
	2021	25.13 ± 9.16	11.69-54.80	12.91		NA

AA:
Antimicrobial
agent, BP:
Breakpoint,
* $p < 0.05$,
**IQR:
Interquartile
range, ***zone
diameter, NA:
non applicable.
Ampicillin

(AMP), amoxicillin/clavulanic acid (AMC), cefazolin (CFZ), cefoxitin (CFX), cefepime (CPE), ceftriaxone (CRO), ciprofloxacin (CIP), gentamicin (GN), piperacillin (PIP), piperacillin-tazobactam (TZP), trimethoprim/sulfamethoxazole (SXT).

The resistance rates of SXT, GN, and TZP were decreased in both state hospital (SH) and university hospitals (UH). However, CFZ resistance and ESBL rates were increased in both SH and UHs. While CIP resistance rate decreased in SHs, increased in UHs. Conversely, AMC, CRO and CFX resistance rates decreased in UHs and increased in SHs. Inter-hospital resistance status for AMP, PIP, and CPE could not be evaluated because datasets were missing. There was no statistically significant difference in the resistance rates of all antibiotics between SHs and UHs ($p > 0.05$). (Chart 2)

Chart 2. The antimicrobial resistance rates of two different hospital type in 2012 and 2021.

AA	Year	SH mean (% $\pm$ SD)	UH mean (% $\pm$ SD)	p*
SXT	2012	41.14 $\pm$ 4.28	39.26 $\pm$ 7.94	0.69
	2021	33.25 $\pm$ 4.31	33.18 $\pm$ 6.92	0.98
CIP	2012	26.38 $\pm$ 4.37	28.48 $\pm$ 7.15	0.62
	2021	25.48 $\pm$ 8.90	29.11 $\pm$ 7.97	0.46
AMP	2012	56.31 $\pm$ 3.58	48.40 $\pm$ 14.80	0.46
	2021	-	41.19 $\pm$ 28.84	NA
AMC	2012	23.88 $\pm$ 3.59	27.61 $\pm$ 14.70	0.67
	2021	48.23 $\pm$ 25.37	27.55 $\pm$ 6.17	0.29
PIP	2012***	18.81 $\pm$ 0.00	35.04 $\pm$ 10.78	-
	2021	-	53.69 $\pm$ 23.62	NA
TZP	2012	11.62 $\pm$ 6.61	13.68 $\pm$ 6.65	0.67
	2021	9.26 $\pm$ 0.48	9.21 $\pm$ 6.23	0.99
CRO	2012	16.96 $\pm$ 6.42	25.53 $\pm$ 7.09	0.05
	2021	31.87 $\pm$ 18.75	25.20 $\pm$ 8.55	0.26
CFZ	2012	18.07 $\pm$ 2.72	37.57 $\pm$ 16.37	0.11
	2021	34.48 $\pm$ 0.00	48.35 $\pm$ 29.50	0.66
CFX	2012	9.53 $\pm$ 1.95	16.73 $\pm$ 9.43	0.30
	2021	12.33 $\pm$ 0.00	9.96 $\pm$ 4.97	0.65
CPE	2012	-	25.04 $\pm$ 12.05	NA
	2021	34.68 $\pm$ 40.51	24.18 $\pm$ 13.87	0.77
GN	2012	16.83 $\pm$ 2.40	17.78 $\pm$ 5.67	0.77
	2021	13.86 $\pm$ 6.44	13.11 $\pm$ 5.15	0.81
ESBL	2012	17.06 $\pm$ 7.03	21.02 $\pm$ 6.38	0.32
	2021	20.22 $\pm$ 2.66	25.54 $\pm$ 9.42	0.44

AA: Antimicrobial agent, SH: State Hospital, UH; University Hospital, * $p < 0.05$, **IQR: Interquartile range, ***Standard deviation and p value could not be calculated since a single center AR was reported for SH in PIP resistance in 2012. NA: non applicable. Ampicillin (AMP), amoxicillin/clavulanic acid (AMC), cefazolin (CFZ), cefoxitin (CFX), cefepime (CPE), ceftriaxone (CRO), ciprofloxacin (CIP), gentamicin (GN), piperacillin (PIP), piperacillin-tazobactam (TZP), trimethoprim/sulfamethoxazole (SXT).

Within the framework of the data obtained, theoretically GN, CFX and TZP seem to be empirical treatment alternatives in Turkey, but their clinical use is controversial. A statistically insignificant difference was found between the regional groups for GN at the rates of 13.41%-19.06% ($p=0.57$). GN resistance was highest in Aegean Region (19.06%). In addition, Aegean Region has the highest CFX resistance rate (22.01%), while the Mediterranean Region has the lowest CFX resistance rate (9.87%) ($p=0.04$). There was no statistically significant difference in GN, CFX and TZP resistance rates between regions ($p=0.577$; $p=0.04$; $p=0.34$). (Image 1)

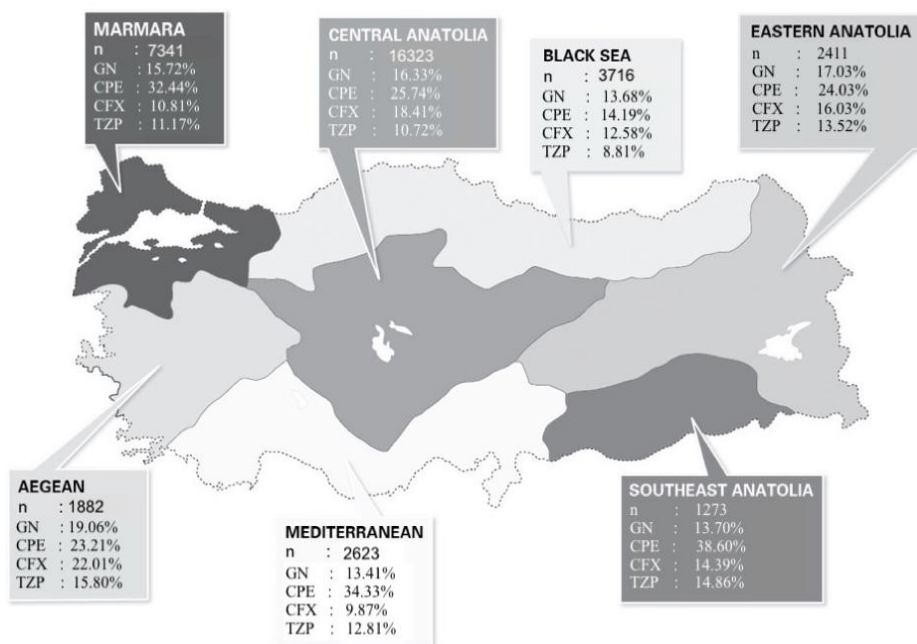


Image 1. Distribution of antibiotics that theoretically have the capacity to be an empirical treatment alternative for seven regions in Turkey.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

Before the study, the researchers planned to evaluate the AR results of more patients. However, in the preliminary evaluation, it was determined that some results obtained from almost all regions were incompletely presented. Thus, the results for 11 antibiotics were submitted after careful discussion among the participating scientists. Some test processes and protocols in clinical microbiology laboratories may adversely affect anti-biotic resistance results. This situation can be considered to some extent as a weakness of the study. However, considering the number of patients, centers in the study and the adequacy of the data obtained regarding the evaluated antibiotics, it can be said that the mentioned limitation is insignificant. This study aimed to investigate the ten-year change in the resistance profiles of *E. coli*, which is the most common cause of UTI in women, the effect on the resistance of rational drug applications, and the effect of switching from CLSI to EUCAST on the resistance profile.

Until the 2010s, three-day SXT treatment was the gold standard for uncomplicated acute cystitis and the eradication rate is almost 90%. Nowadays, SXT cannot even meet the conditions

of current empirical therapy [10,11]. In two different meta-analyses in Turkey, the resistance rates of *E. coli* isolated from patients against SXT were found to be 47.1% and 49.3%, respectively. [12,13]. Our study results showed that the SXT resistance level decreased from 39.46% in 2012 to 33.19% in 2021. This result was compatible with the literature but lower than previous meta-analyses conducted in our country. It has been reported that there is no change in SXT resistance in *E. coli* strains with the application of CLSI and EUCAST protocols [14]. The decrease in the resistance level detected in our study may be due to NAP for RDU. But the empirical use of SXT as first-line therapy for women with UTI should not be recommended in Turkey.

Studies showing increasing quinolone resistance in uropathogens have been increasing over the last 10 years. [15,16]. In a study performed in Brazil with 56,555 urine cultures, it was reported that 15.5% of the isolates were resistant to quinolones [17]. A study conducted in Hong Kong determined that the average CIP resistance in *E. coli* strains was 22.2% [18]. Similarly, two different meta-analyses conducted in Turkey reported the CIP resistance rates of *E. coli* strains as 20.1% and 21.1%, respectively. [12,13]. Looking at the data in the literature, it has been observed that the resistance rate has increased over the years. When we interpreted our results with these studies in mind, treatment with CIP could comprehensibly be inadequate due to the moderately high rate of resistance. When the 2012 (28.26%) data of CIP resistance in this study were compared with the 2021 (28.74%) data, no statistically significant change was observed. Empirical use of CIP could not be recommended in women with UTI in Turkey. Additionally, despite the precautions taken, CIP could still be an abused therapeutic agent. Therefore, CIP resistance should be monitored in infectious *E. coli* strains.

Previous international and national studies have reported elevated resistance rates to AMP in *E. coli*. The resistance rate of AMP used in the treatment of UTI in primary health care in Denmark was reported as 36%, and 35.56% in the study of Waldroff et al [19]. Similarly, the rate of AMP resistance was reported as 38% in a study conducted by Asgin and Satmis in Turkey [20]. In the meta-analysis of patient results in Turkey by Aykan and Ciftci, the resistance rate of *E. coli* to AMP was shown to be 62.1% between 2008 and 2012 [13]. In the study of Hombach et al., it was reported that the number of AMP-resistant *E. coli* did not change in the transition from the CLSI guideline to EUCAST [14]. While the rate of AMP resistance in our patients was around 49.06% in 2012, it decreased to 41.19% in 2021. It can be said that both the measures taken and the CLSI to EUCAST transition contribute positively to the reduction of AMP resistance. However, AMP (with and without inhibitor) can still be misused. Therefore, oral AMP should not be used in female patients with uncomplicated UTI, and a comment should be added to the AST test reports to explain its possible insufficiency, contributing to the formation of adequate knowledge about the subject.

In acute community-acquired uncomplicated UTIs caused by *E. coli*, AMC used to be referred to as the first-line antibiotic [21]. Our results showed an increase in AMC resistance in the last 10 years. It is noteworthy that this has happened despite the measures taken in NAP on RDU, and CLSI to EUCAST transition. Mistakes in use and inadequacy of the measures taken, as it is among the first treatment options in uncomplicated UTI infections, may have caused an increase in AMC resistance. Furthermore, it could be proposed to add a comment in AST test reports to explain the limitation and possible inadequacy of oral administration of AMC use in uncomplicated urinary tract infections [22].

In a study performed by Choi et al. in South Korea in 2022, they reported that *E. coli* strains isolated from urine samples were resistant to PIP (68.7%) [23]. Our study only found a statistically significant increase in PIP resistance among uropathogenic *E. coli* strains (Table 1). Intermediate susceptibility results were added to the resistant results in the EUCAST guideline, which may have contributed to the increased PIP resistance rate, or the PIP-resistant *E. coli* strains may have been selected under the pressure of heavy use of antibiotics. This situation exposes the necessity of reviewing the measures taken. In addition, it may be useful to reveal the clonal relationship, virulence genes and resistance genes in PIP-resistant uropathogenic *E. coli* isolates to find the cause of resistance [23].

The TZP is frequently effective in vitro against *E. coli*, but clinical data regarding their use in patients with bacteremia caused by ESBL-producing Enterobacteriaceae are conflicting [24]. Our study found a statistically significant decrease in TZP resistance among uropathogenic *E. coli* strains (Table 1). In addition, the lowest resistance level among the antibiotics studied was found in TZP. This result is very meaningful in terms of the efforts taken under the NAP and the effectiveness of the CLSI to EUCAST conversion. But it should be kept in mind that the relationship between ESBL positivity and in-vivo TZP sensitivity is unclear in the urosepsis clinical decision process.

In a study in which cumulative antibiogram results were discussed during the transition from CLSI standards to EUCAST standards; It has been reported that changes in the susceptibility results of cephalosporin group antibiotics are important, especially in ESBL-producing Enterobacterales species, but regional epidemiological data should also be taken into account in the evaluation of these changes [25]. Additionally, the most important reason for the increase in resistance to beta-lactam/beta-lactamase combinations is the absence of an intermediate category for these antibiotics in EUCAST. These changes have been shown to affect susceptibility results and cause high rates, and higher rates of CAZ and CRO resistance have been reported in *E. coli* isolates [26]. Our study results emphasize that, an increase in CFZ, CPE and CRO resistance levels, and a decrease in CFX resistance level are remarkable. It could be considered that there is an increase in CFZ, CPE and CRO resistance following the CLSI to EUCAST transition. Statistically, only the decrease in CFX resistance showed a significant difference. In addition, CPE and CFX with resistance levels below 30% can be considered an alternative agents for treatment in Turkey according to AST results. However cephalosporins susceptibility status should be evaluated together with ESBL production of isolates.

In a study conducted in Turkey in 2022, the rate of ESBL production in *E. coli* strains was reported as 35.6% [27]. In this study, the prevalence of ESBL in *E. coli* strains isolated from urine samples from female outpatients was found to be 20.56% and 25.13% in 2012 and 2021 respectively. Our study findings were found to be lower than the values given in the literature. But CLSI and EUCAST canceled the decision that "all isolates found to be ESBL positive according to the results of the combined synergy test should be reported as resistant to all cephalosporins and monobactams" and lowered the clinical cut-off values and requested that the reports be written in line with these breakpoints [28]. Therefore, cephalosporin susceptibility should be evaluated together with the latest breakpoints in the guidelines.

The GN is the most frequently prescribed antibiotic for infections, and the EUCAST has defined clinical breakpoints to classify isolates as susceptible or resistant to these antibiotics.

Our results showed that the rates of GN resistance decreased significantly over a ten-year period. Although it is not used to treat uncomplicated UTI infections, it is promising for treating other infections caused by *E. coli* that the GN resistance has decreased with the NAP RDU actions taken and/or the CLSI to EUCAST transition.

Another important result that emerged in this study is the difference in AR between SH and UHs. The decrease in the rates of resistance to SXT, GN and TZP in both hospital types, and the increase in the rates of CFZ resistance and ESBL rate should be discussed within the scope of the measures taken within the process of NAP RDU. It is also noteworthy that the CIP resistance tends to increase in UH, and the AMC and CFX resistance tends to increase in SH. The difference in resistance levels between hospitals may be related to the patient profile. Although aforementioned antibiotics are not empirical treatment options because of high resistance levels, it should be kept in mind that in-effective antibiotherapeutic regimens can help bacteria gain resistance. Additionally, AST should be managed by health authorities; valid guidelines for empirical antibiotic use should be preferred. To prevent therapeutic failure, reduce treatment costs, and minimize the development of unnecessary antibiotic resistance, provincial, regional, or national guidelines for UTIs should be established. Also, the new regulatory activities for NAP RDU should be investigated, and antibiotics usage could be limited also in livestock.

Totally, 35569 *E. coli* strains were evaluated in almost all of Turkey according to their AR rates in two periods of one year (2012 and 2021). The results draw attention to high resistance rates to AMP, SXT and CIP in 2012 due to probable mismanagement of therapy. Empirical use of AMP, SXT and CIP was not recommended according to guidelines. It has been determined that AMP and SXT resistance rates have decreased with the transition to the EUCAST period in our country.

It was determined that GN, CPE, CFX and TZP resistance rates did not differ statistically significantly according to geographical regions. ($p > 0.05$) But, the differences in the resistance rates detected in the regions are remarkable. It was defined that GN, CFX and TZP resistance rates were highest in Aegean Region, and CPE resistance was highest in Marmara Region. (Figure 1) The increase in the number of *E. coli* reported to be resistant to 3rd generation cephalosporins and fluoroquinolones, which are frequently used in treatment, may increase the selection pressure for other antimicrobials. (for example aminoglycosides and carbapenems etc.)

REFERENCES

- [1] Foxman, B. Urinary tract infection: self-reported incidence and associated costs, *Ann Epidemiol*, 10, 2000.
- [2] Foxman, B. Urinary tract infection, *Women and Health*, 2nd ed., 2013.
- [3] Moreno, E. Relationship between *Escherichia coli* strains causing acute cystitis in women and the fecal *E. coli* population of the host, *J Clin Microbiol*, 46, 2008.
- [4] Salvatore, S. Urinary tract infections in women, *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 156, 2011.
- [5] WHO. Report signals increasing resistance to antibiotics in bacterial infections in humans and need for better data, 2022.
- [6] NICE. Urinary tract infection (recurrent): antimicrobial prescribing, 2018.
- [7] European Association of Urology. EAU Guidelines – Urological Infections, 2020.

- [8] Manges, A.R. Widespread distribution of urinary tract infections caused by a multidrug-resistant *Escherichia coli* clonal group, *N Engl J Med*, 345, 2001.
- [9] T.C. Sağlık Bakanlığı. Akılcı İlaç Kullanımı Ulusal Eylem Planı 2019-2023, 2019.
- [10] Hanlon, J.T. The IOU Consensus Recommendations for Empirical Therapy of Cystitis in Nursing Home Residents, *J Am Geriatr Soc*, 67, 2019.
- [11] Silva, A. Revisiting the Frequency and Antimicrobial Resistance Patterns of Bacteria Implicated in Community Urinary Tract Infections, *Antibiotics (Basel)*, 11, 2022.
- [12] Isikgoz Tasbakan, M. A pooled analysis of the resistance patterns of *Escherichia coli* strains isolated from urine cultures in Turkey, *Turk J Med Sci*, 41, 2011.
- [13] Aykan, S.B. Türkiye’de idrar kültürlerinden izole edilen *Escherichia coli* suşlarının antibiyotiklere direnç durumu: Bir meta-analiz, *Mikrobiyol Bul*, 47, 2013.
- [14] Hombach, M. Effects of clinical breakpoint changes in CLSI guidelines 2010/2011 and EUCAST guidelines 2011 on antibiotic susceptibility test reporting of Gram-negative bacilli, *J Antimicrob Chemother*, 67, 2012.
- [15] Blaettler, L. Secular trend and risk factors for antimicrobial resistance in *Escherichia coli* isolates in Switzerland, *Infection*, 37, 2009.
- [16] Kahlmeter, G. Antimicrobial susceptibility of *Escherichia coli* from community-acquired urinary tract infections in Europe: the ECO SENS study revisited, *Int J Antimicrob Agents*, 39, 2012.
- [17] Tano, Z.N. Susceptibility to first choice antimicrobial treatment for urinary tract infections to *Escherichia coli* isolates from women urine samples in community South Brazil, *Braz J Infect Dis*, 26, 2022.
- [18] Ho, P.L. Antimicrobial resistance in *Escherichia coli* outpatient urinary isolates from women: emerging multidrug resistance phenotypes, *Diagn Microbiol Infect Dis*, 59, 2007.
- [19] Waldorff, M.S. Influence of Antimicrobial Resistance on the Course of Symptoms in Female Patients Treated for Uncomplicated Cystitis Caused by *Escherichia coli*, *Antibiotics*, 11, 2022.
- [20] Asgin, N. Which antibiotics should we prefer empirical treatment of urinary tract infections in elderly patients?, *J Surg Med*, 3, 2019.
- [21] Tan, C.W. Urinary tract infections in adults, *Singapore Med J*, 57, 2016.
- [22] EUCAST. Guidance on the Implementation of Revised Aminopenicillin Breakpoints for Enterobacterales, 2023.
- [23] Choi, H.J. Characteristics of *Escherichia coli* Urine Isolates and Risk Factors for Secondary Bloodstream Infections in Patients with Urinary Tract Infections, *Microbiol Spectr*, 10, 2022.
- [24] Vardakas, K.Z. Carbapenems versus alternative antibiotics for the treatment of bacteraemia due to Enterobacteriaceae producing extended-spectrum beta-lactamases: a systematic review and meta-analysis, *J Antimicrob Chemother*, 67, 2012.
- [25] Wolfensberger, A. Change of antibiotic susceptibility testing guidelines from CLSI to EUCAST: influence on cumulative hospital antibiograms, *PLoS One*, 8, 2013.
- [26] Hombach, M. Influence of clinical breakpoint changes from CLSI 2009 to EUCAST 2011 antimicrobial susceptibility testing guidelines on multidrug resistance rates of gram-negative rods, *J Clin Microbiol*, 51, 2013.
- [27] Celik, C. Bir Üniversite Hastanesinde Kan Dolaşımı Örneklerinden Üretilen *Escherichia coli* ve *Klebsiella pneumoniae* İzolatlarında Direnç: COVID-19 Pandemi Dönemi ile

Karşılaştırmalı Altı Yıllık Değerlendirme, ANKEM Derg, 36, 2022.
[28] Flannery, D.D. Neonatal multidrug-resistant gram-negative infection: epidemiology, mechanisms of resistance, and management, *Pediatr Res*, 91, 2022.

THE ROLE OF BACTERIAL AGENTS IN THE ETIOLOGY OF PROSTATIC INFECTIONS

PROSTAT ENFEKSİYONLARININ ETİYOLOJİSİNDE BAKTERİYEL AJANLARIN ROLÜ

Prof. Dr. FATMA HUSNIYE DILEK

Department of Pathology, Faculty of Medicine, Izmir Katip Çelebi University, Izmir, Türkiye,
fatmahusniye.dilek@ikcu.edu.tr-0000-0003-0074-6593

Doç. Dr. İHSAN HAKKI CİFTÇİ

Department of Microbiology, Faculty of Medicine, Sakarya University, Sakarya, Türkiye,
ihciftci@sakarya.edu.tr-0000-0002-9812-134X

Prof. Dr. OZTUG ADSAN

Department of Urology, Faculty of Medicine, TOBB ETU Hospital, Ankara, Türkiye,
oztugadsan@yahoo.com-0000-0003-2416-8556

Uzm. Dr. ENGİN KARAKECE

Department of Microbiology, Sakarya University Research and Educational Hospital,
Sakarya, Turkey, enginkarakece@gmail.com-0000-0003-1941-621X

Prof. Dr. HASAN SALİH SAGLAM

Department of Urology, Faculty of Medicine, Sakarya University, Sakarya, Türkiye,
ssaglam@sakarya.edu.tr-0000-0002-8904-1612

Prof. Dr. OSMAN KOSE

Department of Urology, Faculty of Medicine, Sakarya University, Sakarya, Türkiye,
osmankose@sakarya.edu.tr-0000-0001-5656-6853

Dr. ZEYNEP KAHYAOGU

Health Sciences University Dr. Abdurrahman Yurtarslan Ankara Oncology Training and
Research Hospital, Pathology Clinic, Ankara Türkiye, zeynepkahyaoglu@gmail.com-0000-
0001-9002-074X

Dr. Öğr. Üyesi ELMAS PINAR KAHRAMAN KILBAS

Medical Laboratory Techniques Program, Vocational School of Health Services, Fenerbahçe
University, İstanbul, Türkiye, elmas.kahraman@fbu.edu.tr-10-0000-0003-1348-625X

ABSTRACT

Prostatitis, which is generally seen in young and middle-aged men and manifests itself with basic clinical symptoms such as urinary tract irritation and chronic pelvic pain, is a disease caused by different reasons. The aim of this study is to investigate bacterial agents thought to play a role in the etiology of prostatitis using molecular techniques from prostatitis tissue. In this study, 80 prostate biopsy materials were examined. Paraffin-embedded formalin-fixed (FFPE) tissue pieces were used for molecular techniques. Primers were designed to detect DNA from bacteria considered as potential causative agents. As a heterologous target, the human glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH) gene was used as an internal control. *Escherichia coli* ATCC 25922 was used as a positive control. The records of 80 patients diagnosed histopathologically with prostatitis were evaluated in detail. After eliminating patients who did not meet the inclusion criteria, 45 patients were included in the study. In the study, all samples were found positive for the internal control and all samples were negative for the tested strains. In conclusion, we believe that known bacteriological agents, including *E. coli*, which is a member of the flora and the most frequently discussed etiology of prostatitis, are not the primary cause of prostatitis. In order to generalize the results, prospective studies are needed where the number of cases is high and other types of microorganisms and bacteria are also investigated.

Keywords: prostatitis, prostate tissue, bacterial prostatitis, polymerase chain reaction.

ÖZET¹

Genellikle genç ve orta yaşlı erkeklerde görülen, idrar yolu tahrişi ve kronik pelvik ağrı gibi temel klinik belirtilerle kendini gösteren prostatit, farklı nedenlerden kaynaklanan bir hastalıktır. Bu çalışmanın amacı, prostatit etiyolojisinde rol oynadığı düşünülen bakteriyel ajanların prostatit dokusundan moleküler tekniklerle araştırılmasıdır. Bu çalışmada, 80 prostat biyopsi materyali incelendi. Parafine gömülü formalin ile fikse edilmiş (FFPE) doku parçaları moleküler teknikler için kullanıldı. Potansiyel etken olarak düşünülen bakterilerden DNA saptanması için primerler tasarlandı. Heterolog hedef olarak insan glikeraldehit-3-fosfat dehidrojenaz (GAPDH) geni iç kontrol olarak kullanıldı. Pozitif kontrol olarak *Escherichia coli* ATCC 25922 kullanıldı. Prostatit tanısı histopatolojik olarak konmuş 80 hastanın kayıtları detaylı olarak değerlendirildi. Dahil etme kriterlerini karşılamayan hastalar elendikten sonra, 45 hasta çalışmaya dahil edildi. Çalışmada, tüm örnekler iç kontrol açısından pozitif bulundu ve tüm örnekler test edilen suşlar için negatif bulundu. Sonuç olarak, dermal floranın bir üyesi olan ve prostatitin en sık tartışılan etiyolojisi olan *E. coli* dahil bilinen bakteriyolojik ajanların prostatitin primer nedeni olmadığına inanıyoruz. Sonuçların genellenebilmesi için vaka sayısının fazla olduğu, diğer mikroorganizma ve bakteri türlerinin de araştırıldığı prospektif çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: prostatit, prostat dokusu, bakteriyel prostatit, polimeraz zincir reaksiyonu.

¹ This project was supported by Sakarya University Scientific Research Projects Coordination Office with the number 2012-08-00-005.

1. INTRODUCTION

Prostatitis is frequently seen in young and middle-aged men and presents with clinical symptoms such as urethral irritation and chronic pelvic pain [1]. It is a disease that does not have direct life-threatening effects, but it is hard to treatment, easy to relapse, and reduces the quality of life of patients due to its symptoms [2]. According to the National Institutes of Health (NIH), there are four types of prostatitis: based on the duration of the disease and whether bacteria can be detected in the prostate secretion: acute type, chronic bacterial type, chronic non-bacterial type, and asymptomatic non-type. Urinary catheterization, sexual intercourse, and stasis caused by prostatic hyperplasia are risk factors for acute bacterial prostatitis in adults. Potential causes in children include abnormal anatomy, voiding problems, and urinary tract instrumentation [3].

Chronic bacterial prostatitis is inflammation of the prostate gland caused by subacute, chronic bacterial infection of the prostate and related areas of the male genitourinary system [4]. Gram-negative bacteria are responsible for the majority of cases of chronic bacterial prostatitis (CBP). Relapse of CBP is associated with biofilms often related with chronic infections, increased antibiotic resistance in pathogenic and opportunistic bacteria, and a small number of antibiotic capable of penetrating the prostate gland through the prostate epithelium [5]. *Escherichia coli* is noted to be the most common pathogen associated with both acute and chronic bacterial cystitis and prostatitis [6]. Some studies in the literature have shown that prostatitis caused by *E. coli* causes uncontrolled growth of the prostate gland in the early stages of inflammation [7].

The causes and pathogenesis of nonbacterial prostatitis, in particular, are complex. Prostatitis is related with non-infectious and non-bacterial agents like immune disorders, hormones, diet, stress, chemicals, urinary reflux, exosomes and autonomic nerves [8]. These available treatments for prostatitis largely depend on the underlying cause and its severity. However, most treat its symptoms but not its root cause, mainly because the pathogenesis is unknown [9]. There are limited studies on the molecular epidemiology of prostatitis, and culture method is generally used for identification. This study aimed to investigate the existence of bacterial agent thought to play a role in the reasons of prostatitis by using a universal primer after obtaining DNA from prostatitis tissue.

2. EXPERIMENTAL STUDIES

This study retrospectively examined 80 prostatic trans urethral resection (TUR) material available in the Pathology Clinic at XXX University Training and Research Hospital. Data of patients diagnosed with prostatitis by histopathological examination were examined. The patients included in the study were informed and their consent was obtained. The study was approved by the XXX University Medical Faculty Ethics Committee for Non-Invasive Clinical Trials (71522473.050.01.04/101).

Sections obtained from formalin-fixed paraffin-embedded (FFPE) blocks made with prostate biopsy samples taken during TUR were used for molecular methods. DNA was extracted with the FFPE kit (QIAGEN, Germany). The quality (OD260-280) and quantity (OD260) of the extracted DNA were measured with the help of a spectrophotometer using the classical technique [10].

Primers were produced to multiply the DNA of 39 specific microorganisms using the method developed by Nadkarni et al. (2002). In addition, the suitability of *Enterobacter spp.*, *Klebsiella spp.*, *Ureaplasma spp.* and *Corynebacterium spp.* genomes with this primer was checked in a locus of the 16S ribosomal RNA gene sequence using the sequencing method. The human glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenase (GAPDH) gene, a heterologous target, was used as an internal control. (Chart 1) *Escherichia coli* ATCC 25922 was used as a positive control.

Chart 1: Primer sequences.

Genes	Sequences	Accession Number	Tm (°C)	Gene length
16S rRNA	TCCTACGGGAGGCAGCAG* GGACTACNAGGGTATCNA**	—	61	245
GAPDH	TTGCCCTCAACGACCACTTT TGGTCCAGGGGTCTTACTCC	J02642	60	120

* Universal forward primer used by Nadkarni et al¹¹. ** Universal reverse primer designed for this study

PCR were carried out as in the study of Nadkarni et al. pure water was used as a negative control [11]. Electrophoresis was performed with 10 µl PCR product on 1% agarose gel in ORTE (Salubris, Türkiye) gel visualization tool. PCR products were checked with a 1 kb marker (Fermentas, USA). The presence a band of approximately 245 base pairs was considered an indicator of positivity for bacteria, while a band of 120 base pairs was considered positive for the internal control. The statistical tests were carried out using SPSS Version 25 (IBM SPSS Statistics). Values are shown as means and standard deviation (SD).

3. RESULTS AND EVALUATION

The records of 80 patients (37 acute and 43 chronic prostatitis) diagnosed histopathologically with prostatitis were examined. After excluding two patients (3.9%) in whom fine needle aspiration biopsy was used as the biopsy method and four patients (7.8%) with an etiological agents (2 tuberculosis and 2 sarcoidosis), 45 patients with no etiological factor were included in the study. DNA properties and amounts used for PCR are shown in Chart 2.

Chart 2: Features of nucleic acids.

		230 nm	260 nm	280 nm	260/230 nm	260/280 nm	DNA (ng/µl)
Sample	Mean	4.19	4.12	2.09	1.00	2.05	165.95
	SD	2.45	2.94	1.67	0.22	0.25	117.04
	Minimum	0.44	0.59	0.31	0.61	1.51	23.56
	Maximum	11.25	15.33	8.35	1.47	2.73	613.22
	IQR	4.097	4.37	2.53	0.27	0.34	166.54
<i>E. coli</i> ATCC 25922		8.60	10.08	5.47	1.17	1.84	403.37

Since the most prominent band for the GAPDH gene and *E. coli* ATCC 25922 gene region was seen at 55°C in the standard PCR reaction, the annealing temperature was 55°C in the PCR reactions. The PCR reaction was repeated three times for all samples. All samples in

all three replicates were positive for the internal control (GAPDH, 120 bp). In addition, no positivity was detected in any sample except the *E. coli* ATCC 25922 positive control. (Image 1)

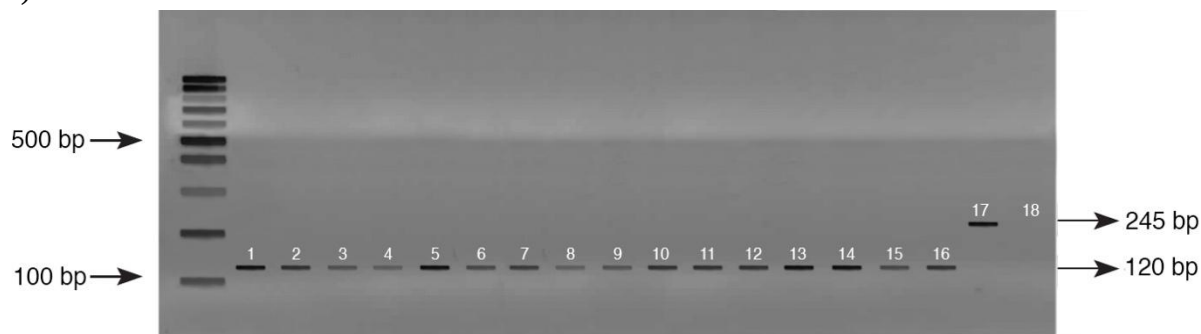


Image 1. Image of internal (GAPDH, 120 bp) and positive control (*E. coli* ATCC 25922, 245 bp) in gel electrophoresis.

4. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSIONS

Bacterial prostatitis (BP) is a bacterial infection of the prostate gland that occurs acutely or chronically in young and old men. If not treated appropriately, it can cause serious morbidity. Therefore, understanding the etiology and pathophysiology of BP is very important for correct treatment [12,13]. There are limited studies on the molecular epidemiology of prostatitis and culture method is generally used for identification. Gram-negative bacteria (especially *E. coli*) are also responsible for the vast majority of cases of chronic and acute bacterial prostatitis [3].

According to the results of studies in the literature, the most common bacterial agent causing prostatitis is *E. coli* [3]. Other bacteria include *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella spp.* and *Neisseria gonorrhoeae* [14]. In addition, immunocompromised patients who are at higher risk of contracting bacterial BP should be carefully tested for atypical microorganisms such as *Salmonella spp.*, *Mycobacterium spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Candida spp.*, *Coccidioides immitis*, *Blastomyces dermatitis*, *Histoplasma capsulatum* and *Brucella spp* [15,16].

80 patients diagnosed with prostatitis were included in our study, and 37 acute and 43 chronic prostatitis samples were examined. In the study, whole samples were positive for the internal control (GAPDH, 120 bp), and all patient samples were found to be negative for the tested strains, except for the *E. coli* ATCC 25922 positive control. In their systematic review, Mendoza-Rodríguez et al. (2022) reported that the most frequently isolated microorganisms from prostatitis patients were; *Enterococcus faecalis* (46.90%), *Staphylococcus spp.* (22.30%), *E. coli* (15.09%) and atypical bacteria (6.04%) [17].

In Krieger and Riley's (2002) study, specific PCR tests were found positive in only 10 (8%) of 135 patients with chronic prostatitis. It was reported that *Mycoplasma genitalium* was detected in four men, *Chlamydia trachomatis* and *Trichomonas vaginalis* in two men, and both *M. genitalium* and *C. trachomatis* were detected in one man [18].

In the study conducted by Krieger et al. (2000) to show bacterial differences between patients with prostate cancer and patients with chronic prostatitis, bacteria were detected in 19.6% of patients with prostate cancer and 46.4% of patients with chronic prostatitis [19].

Honda Takinami et al. (2022) showed that 7.2% of men without obvious symptoms of lower urinary tract infection had bacteria in their prostate tissues. Bacteria found included *C. trachomatis* 3.1%, *Streptococcus mitis* 1.0%, *Staphylococcus haemolyticus* 1.0%, *Cutibacterium acnes* 1.0% and *Acidovorax spp.* it was detected at a rate of 1.0% [20]. Previous studies have generally focused on the relationships between bacteria and the incidence of prostate cancer and have reported that bacteria are present in an average of 19.6-95% of prostate tissues [21,23]. Studies investigating the presence of bacteria in prostate tissue and/or the relationship of this bacterial growth with histopathological conditions are quite limited in the literature.

Riley et al. (1998) detected rRNA positive 23 patients in the prostate tissues of patients with chronic prostatitis. It was reported that the DNA sequences detected in 74% of the patients were different from previously reported sequences, but were >90% similar to known gram-negative bacteria. In one patient, sequences were found to be similar to *Flavobacterium spp.*, in the other to *Pseudomonas testosteroni*, and in two patients, sequences were <70% similar to known rDNAs [24]. The results of Riley et al. study show that the prostate may harbor bacteria that cannot be detected with traditional approaches. Leskinen et al. (2003) investigated the presence of bacterial DNA by PCR in prostate tissue samples obtained from 10 patients with pelvic pain syndrome and 10 asymptomatic patients with localized prostate cancer. All samples except one were found to be negative for bacterial DNA [25].

In conclusion, we believe that known bacteriological agents, including *E. coli*, which is a member of the dermal flora and is the most frequently discussed etiology of prostatitis, are not the primary cause of prostatitis. Studies are needed where the number of cases is high and other types of microorganisms and bacteria are taken into account.

Our study has several limitations. The first limitation is that not all relevant cases were examined due to exclusion criteria. Secondly, fungi and viruses were not assessed. Additionally, pro-inflammatory indicators and cytokines that occur abundantly during the inflammatory process were not investigated.

REFERENCES

- [1] Wang, Y.B., He, D.H., Yang, H.T. Clinical observation of low energy extracorporeal shock wave in the treatment of type IIIB prostatitis, Chinese Community Physician, 34, 2018.
- [2] Song, W.J., Liu, X.H., He, L.Y. Research progress on the relationship between prostate disease and erectile dysfunction, Journal of Urology, 11, 2019.
- [3] Krieger, J.N., Thumbikat, P. Bacterial prostatitis: bacterial virulence, clinical outcomes, and new directions, Microbiology Spectrum, 4, 2016.
- [4] Sharp, V.J., Takacs, E.B., Powell, C.R. Prostatitis: diagnosis and treatment, American Family Physician, 82, 2010.
- [5] Wagenlehner, F.M.E., Weidner, W., Pilatz, A., Naber, K.G. Urinary tract infections and bacterial prostatitis in men, Current Opinion in Infectious Diseases, 27, 2014.
- [6] Lowentritt, J.E., Kawahara, K., Human, L.G., et al. Bacterial infection in prostatodynia, Journal of Urology, 154, 1995.
- [7] Greenberg, R.N., Reilly, P.M., Luppen, K.L., Piercy, S. Chronic prostatitis: comments on infectious etiologies and antimicrobial treatment, The Prostate, 6, 1985.

- [8]** He, H., Luo, H., Xu, H., et al. Preclinical models and evaluation criteria of prostatitis, *Frontiers in Immunology*, 14, 2023.
- [9]** Franco, J.V., Turk, T., Jung, J.H., et al. Pharmacological interventions for treating chronic prostatitis/chronic pelvic pain syndrome: Cochrane Database systematic review, *BJU International*, 10, 2019.
- [10]** Sambrook, J., Fritsch, E.F., Maniatis, T. *Molecular Cloning: A Laboratory Manual*, Cold Spring Harbor, April, 1989.
- [11]** Nadkarni, M.A., Martin, F.E., Jacques, N.A., Hunter, N. Determination of bacterial load by real-time PCR using a broad-range (universal) probe and primers set, *Microbiology*, 148, 2002.
- [12]** Wolfe, T., Smith, C., Jacob, R. Acute bacterial prostatitis in an adolescent patient following blunt trauma, *Proceedings (Baylor University Medical Center)*, 31, 2018.
- [13]** Kang, C.I., Kim, J., Park, D.W., et al. Clinical Practice Guidelines for the Antibiotic Treatment of Community-Acquired Urinary Tract Infections, *Infection and Chemotherapy*, 50, 2018.
- [14]** Brede, C.M., Shoskes, D.A. The etiology and management of acute prostatitis, *Nature Reviews Urology*, 8, 2011.
- [15]** Wagenlehner, F., van Oostrum, E., Tenke, P., et al. Infective complications after prostate biopsy: outcome of the GPIU study 2010 and 2011, *European Urology*, 63, 2013.
- [16]** Steensels, D., Slabbaert, K., De Wever, L., et al. Fluoroquinolone-resistant *E. coli* in intestinal flora of patients undergoing transrectal ultrasound-guided prostate biopsy, *Clinical Microbiology and Infection*, 18, 2012.
- [17]** Mendoza-Rodríguez, R., Hernández-Chico, I., Gutiérrez-Soto, B., et al. Etiología microbiana de la prostatitis crónica bacteriana: revisión sistemática, *Revista Española de Quimioterapia*, 36, 2023.
- [18]** Krieger, J.N., Riley, D.E. Prostatitis: what is the role of infection, *International Journal of Antimicrobial Agents*, 19, 2002.
- [19]** Krieger, J.N., Riley, D.E., Vesella, R.L., et al. Bacterial DNA sequences in prostate tissue from patients with prostate cancer and chronic prostatitis, *Journal of Urology*, 164, 2000.
- [20]** Honda-Takinami, R., Hata, J., et al. Association between the presence of bacteria in prostate tissue and histopathology in biopsies from men not complaining of lower urinary tract symptoms, *Fukushima Journal of Medical Science*, 68, 2022.
- [21]** Sfanos, K.S., Sauvageot, J., Fedor, H.L., et al. A molecular analysis of prokaryotic and viral DNA sequences in prostate tissue from patients with prostate cancer indicates the presence of multiple and diverse microorganisms, *Prostate*, 68, 2008.
- [22]** Keay, S., Zhang, C.O., Baldwin, B.R., Alexander, R.B. Polymerase chain reaction amplification of bacterial 16S rRNA genes in prostate biopsies from men without chronic prostatitis, *Urology*, 53, 1999.
- [23]** Yow, M.A., Tabrizi, S.N., Severi, G., et al. Characterisation of microbial communities within aggressive prostate cancer tissues, *Infectious Agents and Cancer*, 12, 2017.
- [24]** Riley, D.E., Berger, R.E., Miner, D.C., Krieger, J.N. Diverse and related 16S rRNA-encoding DNA sequences in prostate tissues of men with chronic prostatitis, *Journal of Clinical Microbiology*, 36, 1998.

[25] Leskinen, M.J., Rantakokko-Jalava, K., Manninen, R., et al. Negative bacterial polymerase chain reaction (PCR) findings in prostate tissue from patients with symptoms of chronic pelvic pain syndrome and localized prostate cancer, *Prostate*, 55, 2003.

KADINLARDA CİNSEL SAĞLIK OKURYAZARLIK DÜZEYİNİ NELER ETKİLİYOR? BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ ÖRNEĞİ

WHAT AFFECTS THE LEVEL OF SEXUAL HEALTH LITERACY IN WOMEN? A LITERATURE REVIEW EXAMPLE

Aleyna GÜNER¹

Yüksek Lisans Öğrencisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye / e-posta:
aleynaguner150@gmail.com / ORCID ID: 0009-0008-7826-4344

Ruveyde AYDIN²

Doç. Dr. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü,
Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye, / e-posta:
ruveyde.aydin@omu.edu.tr / ORCID ID: 0000-0003-4604-4570

Özet:

Bu derleme; kadınlarda cinsel sağlık okuryazarlık düzeyini etkileyen faktörlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada literatür taraması CINAHL, EMBASE, PsycINFO, PubMed and Web of Science veri tabanlarından 2018-2024 yılları arasında “Cinsel sağlık okuryazarlığı”, “kadın sağlığı”, “cinsel eğitim”, “cinsel sağlık” anahtar kelimeleri ile tarama yapılmıştır. Cinsel sağlık okuryazarlığı, kadınların cinsel sağlık bilgilerini anlama ve bu bilgileri uygulama yeteneğini ifade eder. Bu alandaki bilgi tutum ve davranışlar ile hayatında sağlık kararları almasına yardımcı olmaktadır. Araştırmalar, cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, yaşanılan yer, cinsel deneyim, cinsel eğitim, doğum yeri, dini bağlılık, kültürel faktörler, medya, çalışma durumu, doğum sayısı, aile tutumu, öz bakım düzeyi, kontraseptif yöntem kullanımı gibi faktörlerin cinsel sağlık okuryazarlığına önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir. Kadının eğitim düzeyi, eşinin eğitim düzeyi, aile desteği, doğum kontrolü kullanımı, çalışan kadınların varlığı ve gebelik sayısının az olması, yüksek cinsel sağlık okuryazarlığıyla ilişkilidir. Öte yandan, kırsal yerleşim, kültürel engeller ve düşük sosyoekonomik durum ise düşük cinsel sağlık okuryazarlığı ile ilişkilidir. Cinsel sağlık okuryazarlığının yükseltilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla cinsel eğitim oldukça önemlidir. Bu nokta hemşireler danışmanlık ve eğitici rollerinin kullanımıyla birlikte etkili bir cinsel sağlık eğitimi sunabilmekte ve kadınların riskli davranışlardan korunması konusunda rol oynamaktadırlar. Hemşireler cinsel eğitim için bakım verirken cinselliğin hassas ve mahremiyet gerektiren bir konu olduğunu unutmamalı ve kişilerin farklılıkları göz önünde bulundurarak bir yaklaşım sergilenmelidir. Verilen bakımın kalitesinin

arttırılması adına Jean Watson'ın İnsan Bakım Modelini oluşturan iyileştirici faktörler ve iyileştirme süreçlerinin kullanımı önerilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Cinsel sağlık okuryazarlığı, kadın sağlığı, cinsel eğitim, cinsel sağlık

Abstract:

This review aimed to identify the factors affecting the level of sexual health literacy in women. In this study, a literature review was conducted from CINAHL, EMBASE, PsycINFO, PubMed and Web of Science databases with the keywords “sexual health literacy”, “women's health”, “sexual education”, “sexual health” between 2018 and 2024. Sexual health literacy refers to women's ability to understand and apply sexual health information. It helps them make health decisions in their lives with their knowledge, attitudes and behaviors in this field. Studies show that factors such as gender, age, education level, place of residence, sexual experience, sexual education, place of birth, religious affiliation, cultural factors, media, employment status, number of births, family attitude, self-care level, contraceptive use significantly affect sexual health literacy. Women's educational level, husbands' educational level, family support, contraceptive use, presence of working women and low number of pregnancies are associated with high sexual health literacy. On the other hand, rural residence, cultural barriers and low socioeconomic status are associated with low sexual health literacy. Sexual education is very important to increase and improve sexual health literacy. At this point, nurses can provide effective sexual health education and play a role in protecting women from risky behaviors by using their roles as counselors and educators. While providing care for sexual education, nurses should not forget that sexuality is a sensitive and private subject and should take into account the differences of individuals. In order to improve the quality of care provided, it should be recommended to use the healing factors and improvement processes that make up Jean Watson's Human Care Model.

Keywords: Sexual health literacy, women's health, sexual education, sexual health

Giriş

İnsan, yaşamını sürdürmek için temel ihtiyaçlarını karşılaması gerekmektedir. Maslow'un ihtiyaçlar piramidini baz aldığımızda en alt basamakta fizyolojik ihtiyaçlar bulunmaktadır (Çoban, 2021). Burada bireyin bir canlı olarak ihtiyaç duyduğu ve yaşamının kaynağı olan besin, su, hava, uyku, boşaltım ve cinsellik gibi ihtiyaçları bulunmaktadır (Çoban, 2021). Cinsellik kadın ve erkek yaşamında temel bir ihtiyaçtır. Cinsellik doğum öncesi dönemde başlayıp ömür boyu devam eden, değerler, inanışlar, duygular, tutumlar, davranışlar gibi pek çok faktörden etkilenen ve değişen bir kavramdır (Bozdemir et al., 2011; Zeren ve Gürsoy, 2018). Dünya sağlık örgütü (DSÖ) cinselliği çok boyutlu bir olgu olarak tanımlamıştır. Cinsellik; İnsanın olmanın yaşam boyunca merkezi bir yönüdür ve cinsiyeti, cinsiyet kimliklerini ve rollerini, cinsel yönelimi, erotizmi, hazzı, yakınlığı ve üremeyi kapsar. Aynı zamanda düşünceler, fanteziler, arzular, inançlar, tutumlar, değerler, davranışlar, uygulamalar, roller ve ilişkiler aracılığıyla deneyimlenir ve ifade edilir. Cinsellik biyolojik, psikolojik, sosyal, ekonomik, politik, kültürel, yasal, tarihsel, dini ve ruhsal faktörlerin etkileşiminden etkilenir' şeklinde tanımlanmıştır (Who, 2006).

Cinsel sağlık kavramına baktığımızda ise DSÖ tarafından "Duygusal, zihinsel ve sosyal olarak cinsellikle ilgili iyilik hali olup, aynı zamanda yaşam kalitesinin önemli bir ögesi" şeklinde ifade edilmiştir (WHO, 2006). Cinsel sağlığın sürdürülmesi ve cinsel sağlık sorunlarının önlenmesinde cinsel sağlık okuryazarlığı önemli bir faktördür (Jamali et al., 2022). Cinsel sağlık okuryazarlığı geniş anlamıyla, cinsel sağlık bilgilerini anlama ve mevcut bilgilere göre hareket etme yeteneğini ifade etmektedir (Satcher, 2001). Başka bir tanımda ise cinsel sağlık okuryazarlığı: "günlük yaşamda cinsel sağlık bilgilerine erişim, anlama, değerlendirme ve uygulamada bilgi, inanç, tutum, motivasyon ve kişisel yetenekleri ifade eder ve kişiyi hayatında bir değişiklik yapmak için yargılarda bulunmaya ve kararlar almaya hazırlar, güçlendirir. ' şeklinde ifade edilmiştir. (Martin, 2017). DSÖ cinsel sağlık okuryazarlığının cinsel sağlık bilgilerini anlama, uygulama, cinsel yolla bulaşan enfeksiyon (CYBE) riskini azaltma ve sağlık ötesinde faydalar sağladığını vurgulamaktadır (WHO, 2016). Cinsel sağlık okuryazarlığı bilinçli seçimler yapmak, güvenli seks uygulamalarını arttırmak ve cinsel yolla bulaşan hastalık riskini azaltmak için önleyici bir etkidir (Vamos et al., 2020). DSÖ tarafından 2024 yılında yayınlanan rapora göre 15 yaşındaki her beş erkek çocuğundan biri (%20) ve 15 yaşındaki her yedi kız çocuğundan biri (%15) cinsel ilişkiye girdiğini ve ergenlerin yaklaşık üçte birinin (erkeklerin %30'u ve kızların %36'sı) son cinsel ilişkide kondom kullanmadığı tespit edilmiştir (WHO, 2024). Düşük gelirli ve gelişmekte olan ülkelerde sağlık

okuryazarlığında olduğu gibi cinsel sağlık okuryazarlığının da düşük olduğu belirtilmektedir (Harsch et al., 2021; Rashidi et al., 2023).

Bu derleme çalışmasında amaç; kadınlardaki cinsel sağlık okuryazarlık düzeyini etkileyen faktörlerin belirlenmesidir.

Yöntem

Bu çalışma bir literatür derlemesidir. CINAHL, EMBASE, PsycINFO, PubMed and Web of Science veri tabanlarından 2018-2024 yılları arasında “Cinsel sağlık okuryazarlığı”, “kadın sağlığı”, “cinsel eğitim”, “cinsel sağlık” anahtar kelimeleri ile Türkçe ve İngilizce tarama yapılmıştır.

Bulgular

Cinsel sağlık okuryazarlığı, özellikle kadınların doğrudan davranışlarını etkileyen önemli bir kavramdır. Bununla birlikte, bu alandaki bilgilerin ortaya çıkmasının düşük olması, potansiyel sağlık durumlarının olumsuz yönde etkilenmesi ve sağlık sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. (Maasoumi ve ark., 2019). Cinsel sağlık okuryazarlığı kişilerin düşük riskli partner seçmesine, cinsel sağlıkla ilişkili riskleri anlama ve değerlendirme becerilerinin geliştirilmesine, ilk cinsel deneyimin gecikmesine ve güvenli cinsel deneyime sahip olmalarına yardımcı olmaktadır (Maasoumi et al., 2019). Kaplan Doğan (2024)’nın genç kadınlarda cinsel sağlık okuryazarlık düzeylerinin evlilik öncesi riskli cinsel davranışları üzerine etkisini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada katılımcıların cinsel sağlık okuryazarlık puan ortalamasının %54,3 olduğu ve cinsel sağlık okuryazarlığı düzeyi arttıkça evlilik öncesi cinsel davranışlarda riskin azaldığı tespit edilmiştir. Düşük cinsel sağlık okuryazarlığına sahip bireyler tüm bu risk faktörlerine açık hale gelmektedir (Maasoumi et al., 2019).

Cinsel sağlık okuryazarlığı cinsiyet, yaş, eğitim düzeyi, yaşanılan yer, cinsel deneyim, cinsel eğitim, doğum yeri, dini bağlılık, kültürel faktörler, medya, çalışma durumu, doğum sayısı, aile tutumu, öz bakım düzeyi, kontraseptif yöntem kullanımı gibi pek çok faktörden etkilenmektedir (Simpson et al., 2015; Rakhshae et al., 2020; Panahi et al., 2021; Rashidi et al., 2023; Shahrahmani et al., 2023; Bahrapour et al., 2024; Kohansal et al., 2024).

Cinsel sağlık okuryazarlığına etkileyen faktörlerin belirlendiği çalışmalara bakıldığında; Jamali ve arkadaşları(2020)’nın cinsel sağlık okuryazarlığını ve ilgili faktörleri değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada katılımcıların %23,3’ünün sınırlı cinsel sağlık okuryazarlığına sahip olduğu ve ilköğretim ve ortaokul eğitimi olanların cinsel sağlık okuryazarlık düzeyinin lisansüstü dereceye sahip olanlara göre daha düşük olduğu, eşlerin eğitim seviyesi yükseldikçe cinsel sağlık okuryazarlık düzeyinin arttığı belirtilmiştir. Shahrahmani ve arkadaşları (2023)

tarafından yapılan çalışmada cinsel sağlık okuryazarlığının orta düzey olduğu ve yaş, eğitim, cinsel öz yeterlilik, cinsel bilgi ve tutum, güvenilir ve güvenilir olmayan kaynakları belirleme yeteneği, cinsel bilgi edinme konusunda utanç ve mahcubiyet duygularının, sosyal desteğin ve ailedeki cinsel sorunların, müstehcenliğinin çiftlerde cinsel sağlık okuryazarlığı düzeyini etkilediği saptanmıştır. Panahi ve arkadaşları (2021)'nin cinsel sağlık okuryazarlığı çalışmasında ise katılımcıların %17,4'ü yetersiz cinsel sağlık okuryazarlığına sahip olduğu, lisans ve üzeri eğitimi sahip kadınların ilköğretim mezunu olan kadınlara kıyasla daha yüksek cinsel sağlık okuryazarlığına sahip olma şansı olduğu saptanmış ve eşleri düşük eğitimi düzeyi ve cinsel sağlık okuryazarlığına sahip kadınların cinsel sağlık okuryazarlığının düşük olma oranının 4.25 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada doğum kontrol yöntemi kullanmayan kadınların daha düşük cinsel sağlık okuryazarlığına sahip olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmaya destekler nitelikte olan bir başka çalışmada ise; üniversite mezunu olan kişilerin olmayanlara göre, çalışan kişilerin çalışmayanlara göre daha yüksek cinsel sağlık okuryazarlık düzeyine sahip olduğu, kadınların mesleğine ek olarak, eşleri işsiz olan kadınların daha düşük cinsel sağlık okuryazarlığına sahip olduğu görülmüş ve gebelik sayısının artması ile cinsel sağlık okuryazarlığında düşüş olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Bahrapour et al., 2024).

Cinsel sağlık okuryazarlığı yaş, yerleşim yeri, ekonomik faktörler, kültürel normlar ve eğitimi düzeyi gibi faktörlerle ilişkilidir. Yapılan çalışmalara bakıldığında; Vongxay ve arkadaşları (2019)'nın 15-19 yaş okula giden ergenlerin cinsel ve üreme sağlık okuryazarlığını değerlendirmek amacıyla yaptıkları çalışmada katılımcıların %65,5'nin yetersiz cinsel sağlık okuryazarlığına sahip olduğu ve kentsel yerleşimlerde yaşayan ergenlerin cinsel sağlık okuryazarlık puanlarının önemli ölçüde daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Adamu Amanu ve arkadaşları(2023)'nin Sahra Altı Afrika'daki gençler arasında cinsel ve üreme sağlığı okuryazarlığı hakkında mevcut kanıtların tutarlı bir özetini ve sentezini sunmak amacıyla yaptıkları literatür taramasında katılımcılarının düşük cinsel sağlık okuryazarlığına sahip olduğu gençler arasında cinsel sağlık okuryazarlığı ile ilgili uygulamaları ve deneyimleri belirleyen çeşitli faktörler (aile etkileri, akran baskısı, ekonomik koşullar, kültür veya normlar, zaman (iş yükü), ikamet yeri, yaş, cinsiyet, eğitim, bağlılık ve sağlık durumu) olduğu ve düşük cinsel sağlık okuryazarlığına sahip gençlerin riskli cinsel davranışlar (cinsel yolla bulaşan enfeksiyonlar ve genç yaşta gebelik) içinde oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

Cinsel sağlık okuryazarlığı kültürel ve dini bağlılıktan yakından etkilenmektedir. Rakhshae ve arkadaşları (2020)'nin infertilite sorunu yaşayan kadınlar arasından cinsel sağlık okuryazarlığının boyutlarını keşfetmek amacıyla yaptıkları çalışmada İran kültüründe cinselliğin tabu olarak görüldüğü, tüm katılımcıların cinsel tepki döngüsü, cinsel yolla bulaşan

enfeksiyonların önlenmesi, hedefli cinsel ilişki hakkında bilgi eksikliği yaşadığı ve bilgi aramada yaşadıkları engeller olarak ise utanç, gizlilik ve cinsel sağlık merkezlerinin eksikliği olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca yapılan bu nitel çalışmada bir kadının cinsellikle ilgili duygu ve düşüncelerinin ifadesi şu şekildedir: *“Ülkemizin kültürü, cinsel sorunlarımız hakkında konuşmaktan utanmamıza neden oluyor... Toplumda bu tabu ve kimse bize hiçbir şey öğretmiyor.”* Lirios ve arkadaşları(2023)’nın kültürel ve dilsel olarak farklı geçmişlere sahip gençler, cinsel ve üreme sağlığı bilgilerine ve bakımına erişimde engelleri karşılaştırmak amacıyla yapılan sistematik derleme sonucunda çok çeşitli etnik kökenlere sahip, kültürel ve dilsel olarak farklı geçmişlere sahip gençlerin düşük cinsel sağlık okuryazarlığı bilgisine ve ihtiyaç duyulan cinsel sağlık okuryazarlığı bilgilerine sınırlı erişime sahip olduğu (bu ulaşım engelleri arasında kültürel faktörler, aile yaklaşımı gibi) sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan bu nitel çalışmada vietnamlı bir kadın katılımcının konuyla ilgili ifadesi şu şekildedir; *“Şu anda doktoruma cinsel bir konu için gitsem, annemle babamla iletişime geçeceğinden gerçekten endişelenirdim... Belki de doktor, ailemle aynı kültürden olduklarını düşündüğü için birbirlerine haber vermekle yükümlü olduklarını düşünebilir. Beni gerçekten endişelendiren şey bu olurdu..* Flanagan (2024)’ın dini bakış açılarının, cinsel sağlık eğitimi ve cinsel okuryazarlık üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yaptığı nitel çalışmada dinin hem resmi hem de gayri resmi cinsel sağlık eğitimi üzerindeki etkisinin, kadınların cinsel okuryazarlık düzeylerini geliştirmek için gerekli becerileri edinmelerini engellediği tespit edilmiştir. Bunun sonucunda kadınların cinsel güvenliği koruma, cinsel arzularını, ihtiyaçlarını, sınırlarını ifade etme ve yetişkinliğe geçişte etkili bir cinsel yaşam sürmedikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Cinsel sağlık okuryazarlığının yükseltilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla cinsel eğitim oldukça önemlidir. Cinsel eğitimin temel amacı cinsel ve üreme sağlığını geliştirmektir (van Leent et al., 2023). Bunların yanı sıra cinsel eğitim bireylere insan onuruna saygı duymayı, kendini korumayı, kendinin ve başkalarının bedenlerine değer vermeyi içermektedir (Kim, et al., 2023; van Leent et al., 2023). Cinsel eğitim, cinsel davranışlardan kaynaklanan potansiyel riskleri azaltma, istenmeyen gebeliklere ve cinsel yolla bulaşan hastalıklara karşı korunma konusunda önemli bir araç olmaktadır (van Leent et al., 2023). Aynı zamanda cinsel eğitimi cinsellikle ilgili psikolojik, fiziksel, sosyal ve evlilik sorunlarının önlenmesi konusunda, bireylerin genel sağlık ve refahını destekleyerek sağlıklı bir cinsel yaşam sürmelerine katkı sağlayabilir (van Leent et al., 2023). Tüm bunlar sayesinde kişilerin cinsel sağlık okuryazarlık düzeyinin yükseltilmesi desteklenecektir.

Sonuç

Literatürde görüldüğü üzere cinsel sağlık okuryazarlığı pek çok faktörle yakından ilişkilidir. Kadın sağlığının yükseltilmesi için ise cinsel sağlık okuryazarlığının iyileştirilmesi şarttır. Bu noktada biz hemşirelere düşen sorumluluk oldukça fazladır. Hemşire olarak danışmanlık ve eğitici rollerin kullanımı ile etkili bir cinsel sağlık eğitimi verilmesiyle kadınların riskli davranışlardan korunması sağlanacaktır. Cinsellik konusunun oldukça hassas bir konu olduğu unutulmamalı ve eğitim verilirken kişilerin mahremiyetinin sağlanmasına, farklılıkları göz önünde bulundurarak bir yaklaşım sergilenmesine, sevgi ve nezaket ile kişinin anlayabileceği dil seçimi ve materyal kullanımıyla birlikte bir eğitim sürecinin oluşturulması sağlanmalıdır. Bu noktada hemşirelik mesleğinde bakım verme konusunda yol gösterici olan Jean Watson'ın İnsan Bakım Modelini oluşturan iyileştirici faktörler ve iyileştirme süreçlerinin, kullanımı verilen eğitimin ve bakımın kalitesini arttırılabilir. Unutulmamalıdır ki kadın sağlığı demek bir toplumun sağlığı demektir.

Kaynakça

- Amanu, A., Birhanu, Z., & Godesso, A. (2023). Sexual and reproductive health literacy among young people in sub-saharan africa: Evidence synthesis and implications. Global Health Action, 16(1) doi:<https://doi.org/10.1080/16549716.2023.2279841>
- Bahrapour, B., Shahali, S., Lamyian, M., & et al. (2024). Sexual health literacy among rural women in Southern Iran. Scientific Reports, 14, 17377. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68444-1>
- Bozdemir, N., & Özcan, S. (2011). Cinselliğe ve cinsel sağlığa genel bakış. Turkish journal of family medicine and primary care, 5(4).
- Çoban, G. S. (2021). Maslow'un ihtiyaçlar hiyerarşisi kendini gerçekleştirme basamağında gizil yetenekler. European Journal of Educational and Social Sciences, 6(1), 111-118.
- Dabiri F, Hajian S, Ebadi A, Zayeri F, Abedini S. Sexual and reproductive health literacy of the youth in Bandar Abbas. AIMS Medical Science. 2019;6(4):318–25. doi: 10.3934/medsci.2019.4.318
- Fagan, C. (2020, August 8). Sexual literacy: What it is and why you should care. Sex Ed & Chill. <https://cherylfagan.org/blog/2020/8/8/sexual-literacy-what-it-is-and-why-you-should-care>

- Flanagan, R. (2024). 'Nobody ever told you, "actually, this feels great"': Religion informed sexual health education and barriers to developing sexual literacy. *International Journal of Educational Development*, 100343. <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2024.100343>
- Harsch, S., Jawid, A., Jawid, E., Saboga-Nunes, L., Sørensen, K., Sahrai, D., & Bittlingmayer, U. H. (2021). Health Literacy and Health Behavior Among Women in Ghazni, Afghanistan. *Frontiers in public health*, 9, 629334. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.629334>
- Jamali, B., Maasoumi, R., Tavousi, M., & Haeri Mehrizi, A. A. (2020). Women's Sexual Health Literacy and Related Factors: A Population-Based Study from Iran. *International Journal of Sexual Health*, 32(4), 433–442. <https://doi.org/10.1080/19317611.2020.1841056>
- Jamali, B., Massomie, R., Tavousi, M., Haeri Mehrizi, A. A., & Zarei, F. (2022). The status of sexual health literacy in Iranian women: A cross-sectional study. *Journal of Nursing & Midwifery Sciences*, 9(2), e140607. https://doi.org/10.4103/jnms.jnms_87_21
- Kaplan Doğan, E.(2024) Genç kadınların cinsel sağlık okuryazarlık düzeylerinin evlilik öncesi riskli cinsel davranışları üzerine etkisi. *Androloji Bülteni*, 26(3), 192-198.
- Kim, E. J., Park, B., Kim, S. K., Park, M. J., Lee, J. Y., Jo, A. R., Kim, M. J., & Shin, H. N. (2023). A Meta-Analysis of the Effects of Comprehensive Sexuality Education Programs on Children and Adolescents. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 11(18), 2511. <https://doi.org/10.3390/healthcare11182511>
- Kohansal, F., Nourizadeh, R., Niloufar, S. J., Mahdie, A. B., & Mehrabi, E. (2024). The effect of counseling based on health promotion awareness on self-care needs and reproductive and sexual health literacy of newly married women: A randomized controlled clinical trial study. *BMC Women's Health*, 24, 1-10. doi:<https://doi.org/10.1186/s12905-024-03214-9>
- Lirios, A., Mullens, A. B., Daken, K., Moran, C., Gu, Z., Assefa, Y., & Dean, J. A. (2023). Sexual and reproductive health literacy of culturally and linguistically diverse young people in Australia: a systematic review. *Culture, Health & Sexuality*, 26(6), 790–807. <https://doi.org/10.1080/13691058.2023.2256376>

- Maasoumi, R., Tavousi, M., & Zarei, F. (2019). Development and psychometric properties of sexual health literacy for adults (SHELA) questionnaire. *Hayat*, 25(1), 56–69.
- Martin, S. P. (2017). Young people's sexual health literacy: seeking, understanding and evaluating online sexual health information [PhD thesis]. University of Glasgow. <https://eleanor.lib.gla.ac.uk/record=b3289950>
- Panahi, R., Namdar, P., Nayebi, N., Anbari, M., Yekefallah, L., & Dehghankar, L. (2021). Sexual health literacy and the related factors among women in Qazvin, Iran. *Journal of Education and Community Health*, 8(4), 265-270.
- Rakhshae, Z., Maasoumi, R., Nedjat, S., & Khakbazan, Z. (2020). Sexual Health Literacy, a Strategy for the Challenges of Sexual Life of Infertile Women: A Qualitative Study. *Galen medical journal*, 9, e1862. <https://doi.org/10.31661/gmj.v9i0.1862>
- Rashidi, K., Watson, P., Farahani, H., Chesli, R. R., & Abiri, F. A. (2023). Developing and validating the sexual health literacy scale in an iranian adult sample. *Humanities & Social Sciences Communications*, 10(1), 180. doi:<https://doi.org/10.1057/s41599-023-01669-z>
- Satcher D (2001) The Surgeon General's call to action to promote sexual health and responsible sexual behavior. *Am J Health Educ* 32(6):356–368
- Shahrahmani, H., Kariman, N., Keshavarz, Z., Ahmadi, A., & Nasiri, M. (2023). Sexual health literacy and its related factors among couples: A population-based study in Iran. *PloS one*, 18(11), e0293279. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293279>
- Simpson, S., Clifford, C., Ross, K., Sefton, N., Owen, L., Blizzard, L., & et al. (2015). Sexual health literacy of the student population of the University of Tasmania: Results of the RUSSL Study. *Sexual Health*, 12(3), 207–216. <https://doi.org/10.1071/SH15021>
- Simpson, S., Clifford, C., Ross, K., Sefton, N., Owen, L., Blizzard, L., & et al. (2015). Sexual health literacy of the student population of the University of Tasmania: Results of the RUSSL Study. *Sexual Health*, 12(3), 207–216. <https://doi.org/10.1071/SH15021>
- Vamos, C. A., Thompson, E. L., Logan, R. G., Griner, S. B., Perrin, K. M., Merrell, L. K., & Daley, E. M. (2020). Exploring college students' sexual and reproductive health literacy. *Journal of American College Health*, 68(1), 79–88. <https://doi.org/10.1080/07448481.2018.1515757>

- van Leent, L., Walsh, K., Moran, C., Hand, K., & French, S. (2023). Effectiveness of relationships and sex education: A systematic review of terminology, content, pedagogy, and outcomes. *Educational Research Review*, 39, 100527.
- Vongxay, V., Albers, F., Thongmixay, S., Thongsombath, M., Broerse, J. E. W., Sychareun, V., & Essink, D. R. (2019). Sexual and reproductive health literacy of school adolescents in Lao PDR. *PloS one*, 14(1), e0209675. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209675>
- WHO (2006). Defining sexual health: Report of a technical consultation on sexual health, 28–31 January 2002. Geneva
- World Health Organization. (2024). A focus on adolescent sexual health in Europe, Central Asia, and Canada: Health Behaviour in School-aged Children international report from the 2021/2022 survey (Volume 5). <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/378547/9789289061155-eng.pdf?sequence=1>
- World Health Organization. Sexual and reproductive health literacy and the SDGs. 2016. Available from: <http://www.who.int/healthpromotion/conferences/9gchp/sexual-reproductive-health-literacy/en/>
- Yeşil, Y., & Apak, H. (2024). Ebelik ve Hemşirelik Bölümü Öğrencilerinin Cinsel Sağlık Okuryazarlığı ve Cinsel Sağlığa Yönelik Tutumlarının Belirlenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 13(1), 48-54.
- Zeren, F., & Gürsoy, E. (2018). Neden Cinsel Sağlık Eğitimi?. *Düzce Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 29-33.

AWARENESS OF GYNECOLOGIC CANCERS IN WOMEN: A STUDY ON ENDOMETRIAL CANCER

Büşra İŞBİLİR¹, Doç.Dr. Ruveyde AYDIN², Aleyna GÜNER³

¹Yüksek Lisans Öğrencisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye e-posta: busraisbiliir@gmail.com / ORCID ID: 0009-0009-4908-7470

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı, Samsun, Türkiye e-posta: aydinruveyde@gmail.com / ORCID ID: 0000-0003-4604-4570

³Yüksek Lisans Öğrencisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Doğum ve Kadın Hastalıkları Hemşireliği, Samsun, Türkiye e-posta: aleynaguner150@gmail.com / ORCID ID: 0009-0008-7826-4344

ABSTRACT

Gynecological cancers are malignant tumors that develop in the female reproductive organs and cause high morbidity and mortality worldwide. Endometrial cancer, with 420,368 cases in women (%4.3), ranks second, while in Turkey, 7,847 women (%7.3) have been diagnosed, making it the most common gynecological cancer type.

As awareness increases, women are more likely to seek medical attention at earlier stages, leading to more successful treatment outcomes. However, there is currently no screening test for endometrial cancer, and early diagnosis is only possible through awareness. Studies show that women lack sufficient knowledge about the risks of endometrial cancer, making early detection more difficult. Symptoms such as postmenopausal bleeding are often considered normal or avoided due to shame, preventing women from seeking healthcare services. Women may miss early diagnosis opportunities due to a lack of information, economic difficulties, challenges in accessing healthcare, and low awareness.

The role of nurses is to ensure that women recognize symptoms early and provide information on healthy lifestyles. It is also important to refer high-risk individuals for early diagnosis, taking into account genetic and environmental factors. In this way, cancer can be diagnosed at an early stage and treatment processes can be made more effective.

In conclusion, increasing awareness of endometrial cancer will have positive effects on women's health and strengthen early diagnosis and treatment processes.

Keywords: Endometrial cancer, women's health, awareness, nursing.

AWARENESS OF GYNECOLOGIC CANCERS IN WOMEN: A STUDY ON ENDOMETRIAL CANCER

1. Introduction

Gynecological cancers are malignant tumors that occur in the female reproductive system organs (Arslan et al., 2021; HSGM, 2021). These types of cancers are among the leading causes of morbidity and mortality worldwide (Öztürk et al., 2021). In Turkey, gynecological cancers rank among the top 10 causes of death in women. These cancers are named according to the organ they affect and are classified into endometrial (uterus), ovarian (ovary), cervical (cervix), vulvar, and vaginal cancers (Turkey Cancer Statistics, 2017). According to Globocan 2022 data, there are 420,368 women (%4.3) diagnosed with endometrial cancer worldwide, making it the second most common gynecological cancer. The countries with the highest number of cases include China, the USA, Russia, Japan, and India (Globocan, 2022). According to the National Institutes of Health (NIH), it is estimated that 67,880 new cases of endometrial cancer will be diagnosed in 2024, which accounts for 3.4% of all cancers (NIH, 2024). In Turkey, 7,847 women (%7.3) have been diagnosed with endometrial cancer, making it the most common gynecological cancer type (Globocan, 2022).

2. Awareness Level of Endometrial Cancer in Women, Its Importance, and Contributing Factors

Despite being the most common gynecologic cancer, general awareness of endometrial cancer is poor. One study found that 41% of women knew about gynecologic cancers, but the awareness of endometrial cancer (11%) was lower than that of other cancers (Fonnes et al., 2021). Unfortunately, there is limited research evaluating awareness and knowledge about endometrial cancer in the general female population (Schlumbrecht et al., 2023). Studies have shown that women lack sufficient information about the impact of obesity, age, race (sociocultural factors and genetic background), and hormone use on the risk of endometrial cancer (Soliman et al., 2008; Washington et al., 2020). In a study conducted by Beavis et al. (2024) on 357 overweight and obese women, only 48.7% of the women recognized obesity as a risk factor for endometrial cancer. Similarly, previous research has also shown that women are insufficiently informed about the relationship between endometrial cancer and obesity (Soliman et al., 2008; Wilkinson et al., 2020). There are no screening tests available for endometrial cancer, and it is typically diagnosed when women experience symptoms such as postmenopausal bleeding (Clarke et al., 2018). In a study that examined whether women received counseling about postmenopausal bleeding, whether they sought healthcare after

experiencing postmenopausal bleeding, and when they sought medical help, 63% of the participants identified postmenopausal bleeding as a symptom of endometrial cancer (Wise et al., 2024). Although the majority of women with endometrial cancer (86.6%) present with abnormal vaginal bleeding, nearly half admit they were unaware that abnormal bleeding could be a sign of endometrial cancer (Johnson, 2011). The American Cancer Society strongly recommends that, during menopause, women be informed about the risks and symptoms of endometrial cancer and encouraged to report any unexpected bleeding or spotting to their doctors (American Cancer Society, 2019). A lack of awareness among many women, normalizing the symptoms, or feelings of embarrassment have been identified as reasons why women do not seek healthcare when experiencing symptoms such as postmenopausal vaginal bleeding, a sign of endometrial cancer (Kumarakulasingam et al., 2018). To increase awareness between women and healthcare providers, the National Comprehensive Cancer Control Program (NCCCP) of the Centers for Disease Control and Prevention evaluated the impact of "Inside Knowledge" materials on endometrial cancer awareness. After the educational intervention, participants showed improved knowledge of risk factors and symptoms, with non-gynecologist healthcare providers demonstrating increased knowledge and confidence. However, the study concluded that knowledge gaps still exist, particularly regarding genetic risk factors such as Lynch syndrome (Navinson et al., 2019). Women may neglect or never undergo screening tests due to factors such as lack of information, economic difficulties, difficulties in accessing health services, feelings of shame and low awareness of endometrial cancer (Williams et al., 2018; Aasbø et al. 2019).

3. The Effect of Endometrial Cancer Awareness on Early Diagnosis - Treatment Process and the Role of Nurses

Early awareness of symptoms and seeking medical help promptly increases the likelihood of diagnosing endometrial cancer at an early stage, which typically results in curative treatment (94.9% 5-year survival rate) (National Cancer Institute, 2023). A prospective study conducted in the United Kingdom highlighted that low awareness of symptoms that could indicate endometrial cancer contributed to treatment delays (Johnson, 2011). Therefore, individuals at risk of endometrial cancer must be aware of the benefits of early consultation after the onset of symptoms (Wise et al., 2024). Increasing awareness of endometrial cancer can not only help with cancer prevention but also be effective in preventing problems that may arise alongside the cancer (Burucu & Kiyak, 2022). Since there is no specific screening test for endometrial cancer, continuous research is essential to understand the etiology of the disease and identify

risks, considering both genetic and environmental factors (Schlumbrecht et al., 2023). A study aimed at increasing endometrial cancer awareness in Asian and Black ethnic groups sought to develop a culturally tailored animation video. The study aimed to address knowledge gaps related to reproductive anatomy, endometrial cancer symptoms, and diagnostic processes. The use of culturally appropriate educational materials can promote early diagnosis and improve awareness, especially in low-awareness groups (Chitrakar et al., 2025). Health education interventions aimed at increasing endometrial cancer awareness can be implemented at the individual or societal level (Austoker, 2009). Interventions at the individual level include methods such as face-to-face consultations with a healthcare professional or educational brochures tailored to a specific individual. Interventions implemented at the societal level can be conducted through various methods, including media campaigns, health education websites, and distributing brochures or posters to large audiences in public spaces (Austoker, 2009).

Nurses should participate in educational programs to encourage individuals to recognize symptoms at an early stage and to apply for care, as well as play a role at the system level to ensure equal and quality care for all patients. In particular, it should be emphasized that warning symptoms such as postmenopausal bleeding should be taken seriously and that early diagnosis increases survival rates. Healthy living habits should be targeted by informing about preventable risk factors such as obesity and unhealthy lifestyle. Individuals in the high-risk group can be identified and referred for early diagnosis and treatment.

4. Conclusion and Recommendations

Increasing awareness of endometrial cancer will contribute to the prevention of other health problems that can be seen with cancer as well as cancer prevention. Women's awareness and knowledge in early diagnosis and treatment processes play an important role in reducing the effects of cancer. Health services should be strengthened through continuous research and educational activities to improve awareness and outcomes in the management of endometrial cancer.

REFERENCES

- Aasbø, G., Solbrække, K. N., Waller, J., Tropé, A., Nygård, M., & Hansen, B. T. (2019). Perspectives of non-attenders for cervical cancer screening in Norway: A qualitative focus group study. *BMJ Open*, 9(8), e029505. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2019-029505>
- American Cancer Society. (2024). Cancer facts and figures 2024. American Cancer Society. Erişim sitesi: <https://www.cancer.org/research/cancer-facts-statistics/all-cancer-facts-figures/cancer-facts-figures-2024.html> Erişim tarihi: 15.03.2025.
- Arslan, E., Alçın, G., & Aksoy, T. (2021). Jinekolojik kanserlerde tedavi yanıtının değerlendirilmesinde PET/BT. *Nükleer Tıp Seminerleri*, 7, 166-176. <https://doi.org/10.4274/nts.galenos.2021.0016>
- Austoker, J., Bankhead, C., Forbes, L. J., Atkins, L., Martin, F., Robb, K., et al. (2009). Interventions to promote cancer awareness and early presentation: A systematic review. *British Journal of Cancer*, 101(Suppl 2), S31-S39. <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6605420>
- Beavis, A. L., Hirani, Z., Rushton, T., Rush, M. C., Fader, A. N., Yenokyan, G., & Rositch, A. F. (2024). Overweight and obese women's symptoms, knowledge, and preferences regarding endometrial biopsy for endometrial cancer detection: A threshold technique survey. *Gynecologic Oncology Reports*, 52, 101361. <https://doi.org/10.1016/j.gore.2024.101361>
- Burucu, R., & Kıyak, S. (2022). Üniversite öğrencilerinin jinekolojik kanser farkındalıkları ve ilişkili faktörler. *STED*, 31(3), 172-178.
- Chitrakar, A., Darko, N., & Moss, E. L. (2025). Seeing red..? Co-design of a culturally tailored uterine cancer awareness intervention for Asian and Black ethnic minority groups. *Gynecologic Oncology Reports*, 58, 101690. <https://doi.org/10.1016/j.gore.2025.101690>
- Clarke, M. A., Long, B. J., Del Mar Morillo, A., Arbyn, M., Bakkum-Gamez, J. N., & Wentzensen, N. (2018). Kadınlarda endometrial kanser riski ile postmenopozal kanama arasındaki ilişki: Sistematik bir inceleme ve meta-analiz. *JAMA Internal Medicine*, 178(9), 1210-1222

- Globocan, Global Cancer Statistics: Turkey (2022). [Http://Gco.Iarc.Fr/Today/Data/Factsheets/Populations/792-Turkey-Factsheets.Pdf](http://Gco.Iarc.Fr/Today/Data/Factsheets/Populations/792-Turkey-Factsheets.Pdf). adresinden erişildi.
- Fonnes, T., Telle, I. O., Forsse, D., Falck, R., Trovik, J., Haldorsen, I. S., & Krakstad, C. (2021). Cancer awareness in the general population varies with sex, age and media coverage: A population-based survey with focus on gynecologic cancers. *European Journal of Obstetrics, Gynecology, and Reproductive Biology*, 256, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2020.10.051>
- Johnson, N., Miles, T., Bailey, D., Tylko-Hill, K., Das, N., Ahson, G., et al. (2011). Delays in the treatment of endometrial cancer in South West England. *British Journal of Cancer*, 104(12), 1836-1839. <https://doi.org/10.1038/bjc.2011.183>
- Kumarakulasingam, P., McDermott, H., Boutler, L., Patel, N., Tincello, D., & Moss, E. L. (2018). Knowledge of risk factors and symptoms associated with endometrial cancer in English South Asian and White British women. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 224, 85–88. <https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2018.03.002>
- Novinson, D., Puckett, M., Townsend, J., Tortolero-Luna, G., Patterson, J. R., Gelb, C. A., & Stewart, S. L. (2019). Increasing awareness of uterine cancer risks and symptoms by using campaign materials from Inside Knowledge: Get the Facts About Gynecologic Cancer. *Journal of Cancer Education*, 34(6), 1190–1197. <https://doi.org/10.1007/s13187-018-1427-4>
- Öztürk, R., Bakir, S., Kazankaya, F., Paker, S., & Ertem, G. (2021). Awareness about gynecologic cancers and related factors among healthy women: A cross-sectional study. *Social Work in Public Health*, 36(7–8), 847–856. <https://doi.org/10.1080/19371918.2021.1965936>
- Schlumbrecht, M., Wright, K., & George, S. (2023). Unique considerations in early detection, risk, and awareness of endometrial cancer in Black women. *Cancer Control: Journal of the Moffitt Cancer Center*, 30, 10732748231202952. <https://doi.org/10.1177/10732748231202952>
- Soliman, P. T., Bassett, R. L. Jr., Wilson, E. B., et al. (2008). Limited public knowledge of obesity and endometrial cancer risk: What women know. *Obstetrics & Gynecology*, 112(4), 835–842. <https://doi.org/10.1097/AOG.0b013e318187d022>

- T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü (HSGM). THSK Kanseri Daire Başkanlığı. (2021). Türkiye Kanseri İstatistikleri 2017. Ankara, 2021. Erişim adresi: <https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/kanser-istatistikleri/yillar/2017-turkiye-kanser-i-statistikleri.html>
- Ulusal Kanseri Enstitüsü. (2023). Ulusal Kanseri Enstitüsü: Kanseri Hakkında Bilgiler ve Kaynaklar. Ulusal Sağlık Enstitüleri. <https://www.cancer.gov> erişim tarihi: 12.03.2025
- Washington, C., Haggerty, A., Ronner, W., Neff, P., & Ko, E. (2020). Knowledge of endometrial cancer risk factors in a general gynecologic population. *Gynecologic Oncology*, 158(1), 137-142. <https://doi.org/10.1016/j.ygyno.2020.05.020>
- Wilkinson, M., Murphy, S., Sinclair, P., Heneghan, H., le Roux, C. W., & Brennan, D. J. (2020). Patient perceptions and understanding of obesity-related endometrial cancer. *Gynecologic Oncology Reports*, 32, 100545. <https://doi.org/10.1016/j.gore.2020.100545>
- Williams, M. S., Kenu, E., Dzubey, I., Dennis-Antwi, J. A., & Fontaine, K. (2018). A qualitative study of cervical cancer and cervical cancer screening awareness among nurses in Ghana. *Health Care for Women International*, 39(5), 584–594. <https://doi.org/10.1080/07399332.2018.1424169>
- Wise, M. K., Schefter, A. M., Brill, J., Bharucha, K. A., Tessier, K. M., Terrell, C. A., & Erickson, B. K. (2024). Public awareness and provider counseling regarding postmenopausal bleeding as a symptom of endometrial cancer. *Menopause (New York, N.Y.)*, 31(10), 905–910. <https://doi.org/10.1097/GME.0000000000002411>

İNME Lİ EVDE BAKIM HASTALARININ BAKIM VERİCİLERİNİN BİLGİ GEREKSİNİMLERİ

Mesut DİREK¹, Mukadder MOLLAOĞLU²

ORCID iDs of the authors: M.D. 0000-0002-1801-2726; M.M. 0000-0002-9264-3059

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sivas / Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sivas / Türkiye

ÖZET

Dünya çapında önde gelen ölüm nedeni ve edinilmiş fiziksel sakatlığın ana nedeni olan inme sonrası hastaların üçte biri günlük işlerinde başkalarına muhtaç olarak yaşamlarını sürdürebilmektedir. İnme geçiren çoğu hastada görme problemleri, duyu-motor bozukluklar, bilişsel bozukluklar, tonüs bozuklukları, konuşma güçlüğü, koordinasyon bozukluğu ve yutma güçlüğü gibi fiziksel düzeyde yetersizlikler yaşandığı ve bu duruma bağlı olarak günlük aktivitelerin olumsuz etkilendiği bilinmektedir. Hastayla birlikte bakım vericilerin de yaşayabilecekleri sorunların belirlenmesi, bilgi eksikliğinin giderilmesi ve baş etme stratejilerinin geliştirilmesi önemlidir. Bireyin hastane ve ev ortamında bakımının sürdürülmesinde tüm sağlık ekip üyeleri, özellikle hemşireler anahtar rol oynamaktadır. Bireylerin öz bakım güçlerinin artırılarak günlük yaşam aktivitelerinde yüksek düzeyde bağımsızlıklarının sağlanmasında hemşirelerin eğitici rolü büyük önem taşımaktadır. Hemşireler tarafından verilen sağlık eğitimi ve bakımdaki süreklilik, inmeli bireylerin hastalığın getirdiği sorunlar ve yetersizliklerle baş etmesini kolaylaştırır. Bakım verenin sorunlarını belirlemek için veri toplamak, bakım planlarında, bakım veren ve diğer aile üyelerini birlikte ele almak ve bu doğrultuda eğitim planlamak hemşirenin profesyonel sorumluluklarındandır ve bu süreçte hemşirelerin eğitim, bakım, danışmanlık, çalışmaları organize etme, yol gösterme gibi rollerini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bakım verenin hasta ile iletişimini, hastalık ve bakım verme ile ilgili bilgi, tutum ve davranışlarını gözlemeli, bakım verenlerin yeteneklerine odaklanarak bakım verenin olumlu tutum geliştirmelerine yardım etmelidir. Bakım veren bireylere bakım için gerekli el becerileri, hastanın günlük yaşam aktivitelerini yerine getirirken kolaylaştırıcı yöntemleri ve bakım uygulamaları hakkında verilen eğitimlerin bakım verenlerin yaşadığı bakım yükünü azaltabileceği ve hem hastanın hem de bakım verenin yaşam kalitesini artırabileceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: İnme, Bakım verici, Hemşirelik

ABSTRACT

Stroke remains one of the leading causes of death and the primary cause of acquired physical disability worldwide. Approximately one-third of stroke survivors continue their lives dependent on others for daily activities. It is well established that most stroke patients experience a range of physical impairments, including visual disturbances, sensorimotor

dysfunction, cognitive deficits, tone abnormalities, speech difficulties, coordination problems, and dysphagia, all of which significantly impact their ability to perform daily activities. Identifying the potential challenges faced not only by patients but also by their caregivers, addressing knowledge gaps, and developing effective coping strategies are critical components of post-stroke care. All members of the healthcare team—particularly nurses—play a central role in ensuring the continuity of care in both hospital and home settings. The educational role of nurses is particularly important in enhancing patients' self-care capacity and promoting independence in activities of daily living. Health education provided by nurses, along with continuity of care, facilitates patients' adaptation to the challenges and functional limitations resulting from stroke. It is among the professional responsibilities of nurses to collect data on caregivers' needs, include caregivers and family members in care planning, and design targeted educational interventions. In this process, nurses must fulfill roles such as educator, caregiver, consultant, coordinator, and guide. Nurses should observe the caregiver's communication with the patient and assess their knowledge, attitudes, and behaviors regarding the illness and caregiving process. Supporting caregivers in developing positive attitudes by focusing on their strengths and abilities is essential. Discharge education should include training on practical caregiving skills, facilitative techniques for daily care tasks, and basic nursing practices. Such training has the potential to reduce caregiver burden and improve the quality of life for both patients and caregivers.

Keywords: Stroke, Caregiver, Nursing

GİRİŞ

Dünya çapında önde gelen ölüm nedeni ve edinilmiş fiziksel sakatlığın ana nedeni olan inme sonrası hastaların üçte biri günlük işlerinde başkalarına muhtaç olarak yaşamlarını sürdürebilmektedir. İnme geçiren çoğu insanın görme problemleri, duyu-motor bozukluklar, bilişsel bozukluk, tonüs bozuklukları, konuşma güçlüğü, koordinasyon bozukluğu ve yutma güçlüğü gibi fiziksel düzeyde yetersizlik yaşadığı ve bu duruma bağlı olarak günlük aktivitelerinin olumsuz etkilendiği bilinmektedir (Clare,2018).

Günlük yaşam aktiviteleri yaşamın sürdürülebilmesi için kişinin hayatı boyunca yerine getirdiği aktivitelerdir. Bu aktiviteler; birey ve çevresinin güvenliğinin sağlanması, iletişim, solunum, beslenme, boşaltım, kişisel temizlik ve giyim, beden ısısının kontrolü, hareket, çalışma ve eğlence, uyku ve cinsellik gibi aktivitelerdir. İnmeli bireyler çoğunlukla günlük yaşam aktivitelerini sürdürmede yetersiz kalmakta ve günlük yaşamlarını sürdürme konusunda güçlük çekmektedirler (Çalışkan ve ark.,2021).

İnmede birey nörolojik defisitler nedeniyle çeşitli sorunlarla karşı karşıya olduğundan yataklı tedavi kurumlarında uygulanan akut tedavi sonrası bakımının sürekliliğinin sağlanabilmesi için evde bakım hizmetlerinin planlanması önemlidir. Bakımın temel noktaları nörolojik değişikliklerin erken fark edilmesi ve komplikasyonların erken önlenmesidir. İnme sonrası hastaların bakımda bağımlı olması nedeniyle uzun dönem bakım gereksinimi artmakta ve bakım genellikle aile üyeleri tarafından üstlenilmektedir (Lim ve ark.,2021).

Özellikle bireyin, evde sürekli bakım ihtiyacı olduğunda bu süreç kişinin hastaneye gitmesinden çok hastane hizmetinin eve gelmesi ve evde bakım hizmetinin desteklenmesi doğrultusunda olmaktadır. Bu süreç ülkemizde de olduğu gibi rutin ilaçlar, tekrarlı kontroller, izlemler ve en önemlisi de hastanın yatak içi bakımı üzerine odaklanmaktadır (Tuncay ve Mollaoğlu, 2006). Oysaki evde bakım sürecinde yalnızca hastaların değil, bakım vericilerin de belirli aralıklarla izlenmesi ve desteklenmesi gerekmektedir. Hastayla birlikte bakım vericilerin de bu sürece dahil edilmesi, bakım vericilerin yaşayabilecekleri sorunların belirlenmesi ve baş etme stratejilerinin geliştirilmesi açısından önemlidir. Bu bağlamda, evde bakım sürecinde hemşire, geliştireceği planlı ve doğru bir yaklaşımla bakım vericinin, bakım yönetiminde yaşadığı bakım yükünü ve psikososyal sorunlarını en aza indirmesini sağlayabilir (Feigin ve ark. 2022).

İNME Lİ HASTALARIN BAKIM VERİCİLERİ

Bakım verici; bakım sorumluluğunu üstlenen, hastaya fiziksel, sosyal, emosyonel ve maddi olarak destek sağlayan bireydir (Çelik ve diğerleri, 2021). Hem bizim ülkemizde hem de gelişmiş ülkelerde toplumsal yapıdaki değişimlere rağmen hasta bireyi destekleyici ailevi rol halen varlığını sürdürmektedir (Taşdelen ve Ateş, 2016). Dolayısıyla ülkemizde geleneksel ve kültürel özellikler de göz önüne alındığında evde bakım hastalarının bakımı büyük oranda aile bireyleri tarafından gerçekleştirilmektedir. Hastaya bakım veren aile ferdi; işte çalışma, eğitim durumu ve diğer aile fertlerine ve kendine ayıracağı zaman gibi konularda kısıtlanabilmektedir (Yıldız ve Öztürk, 2020).

Birçok bakım verici bakım verme noktasında bilgisinin olmaması, deneyimlerinin yetersiz olması nedeniyle kendilerini ağır yük altında hissetmektedir. İnmenin 65 yaş üzeri bireylerde gerçekleştiği göz önünde bulundurulduğunda; bakım verici eş ise o da yaşlı bir birey olabilmektedir (Karakurt ve Ünsal, 2019). Dolayısıyla kendi sağlık sorunları ile mücadele etme zorunda kalabilmektedir. Bakım verici genç veya yetişkin bir birey ise, işe devam etmesi gerekebilir ya da başka ev içi sorumlulukları olabilmektedir. Hasta ve bakım veren arasındaki geçirilen zamanın fazla olması, boş zamanın az olması, hasta-bakım veren arasındaki yüksek duygusal etki, bakım verenin kendi sağlık sorunları, duygusal (depresyon, kaygı, özgüven düşüklüğü, uykusuzluk, sosyal izolasyon vb.), ekonomik (çalışma saatlerinin azaltılması, sosyal sigorta kapsamına girmeyen ek bir maliyet yükü oluşturma vb.) etkenler kişilerin kaygı ve korkularını arttırmaktadır (Özcan ve Akyol, 2022).

Ayrıca sosyal destek düzeylerinin istenilen ölçüde olmaması ve hasta bakım konusunda eğitimlerinin olmaması diğer önemli sorunlardandır. Bakım sorumluluğunu yüklenen yakınların, yaşadıkları kaygı ve tükenmişlik düzeyi artmakta; bu durum ise bakım alan hastaların etkin bakım alamamaları, komplikasyon düzeyinde artış, sağlık kurumlarına başvuru sayısında artış gibi istenmeyen durumlara sebep olmaktadır (Demir ve arkadaşları, 2023).

İNME VE GÜNLÜK YAŞAM AKTİVİTELERİ

İnme, beyin damarlarında meydana gelen, hızla gelişen ve ölümle sonuçlanabilen klinik bir sendromdur (Öztürk & Arslan, 2019). Dünya geneline bakıldığında, en yüksek oranda ölüm nedenleri arasında olduğu görülmektedir (Katan & Luft, 2018). Ayrıca, engellilik meydana

getirme özelliğinden dolayı önemsenen kronik bir hastalıktır. Bu kronik hastalığa sahip bireyler çeşitli tedaviler almakla birlikte genel olarak yarı bağımlı ya da tam bağımlı olarak hayatlarını sürdürmektedirler (Demir & Akyüz, 2020). İnmeli hastaların çoğunlukla yaşlı bireyler olduğu düşünüldüğünde, evde sağlık hizmeti almaları ve bakım veren bir bireye ihtiyaç duymaları beklenen bir durumdur (Yıldız & Öztürk, 2020).

Günlük yaşam aktiviteleri, yaşamın sürdürülebilmesi için kişinin hayatı boyunca yerine getirdiği aktivitelerdir.

Bu aktiviteler;

Roper ve arkadaşları tarafından düzenlenen 12 yaşam aktivitesi	
1.Güvenli çevrenin sağlanması	7.Vücut ısısının kontrolü
2.İletişim	8.Hareket
3.Solunum	9.Çalışma ve eğlence
4.Beslenme(yeme-içme)	10.Cinselliği ifade etme
5.Boşaltım	11.Uyku
6.Kişisel temizlik ve giyim	12.Ölüm

(Alligood, 2017)

İNME Lİ HASTALARDA GÜVENLİ ÇEVRENİN SAĞLANMASI

İnme geçiren bireylerin evde bakım sürecinde güvenli bir çevrenin oluşturulması hem hastanın iyileşme sürecini desteklemek hem de olası komplikasyonları önlemek açısından büyük önem taşımaktadır. Bu bireylerde sık görülen denge ve koordinasyon problemleri, düşme riskini artırmakta; bu nedenle yaşadıkları çevrede fiziksel güvenlik önlemlerinin alınması gerekmektedir (Faria-Fortini et al., 2021). Kaymaz zeminlerin ortadan kaldırılması, tutunma barlarının yerleştirilmesi, yeterli aydınlatmanın sağlanması ve engellerin minimize edilmesi gibi çevresel düzenlemeler, hasta güvenliğini artırmakta ve bakım vericilerin iş yükünü azaltmaktadır (Egan et al., 2022). Ayrıca, güvenli çevre düzenlemeleri sayesinde hastaların bağımsızlık düzeylerinin artırılması da mümkün olmakta, bu da hem fiziksel hem psikolojik iyilik hallerine olumlu katkılar sunmaktadır. Hemşirelerin bu konuda eğitim ve danışmanlık sağlaması, güvenli çevre koşullarının sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır (Lobo et al., 2023).

İNME Lİ HASTALARDA İLETİŞİM

İnme geçiren bireylerde, özellikle afazi gibi dil ve konuşma bozukluklarının sık görülmesi nedeniyle etkili iletişim kurmak çoğu zaman güçleşmektedir. Bu durum, hastanın duygularını ifade etmesini, ihtiyaçlarını belirtmesini ve sosyal ilişkilerini sürdürmesini olumsuz etkileyerek yaşam kalitesinde ciddi düşüslere neden olabilir (Brady et al., 2016). Hemşireler ve bakım verenler için hastayla iletişimde sabırlı olmak, basit ve açık cümleler kullanmak, görsel desteklerden yararlanmak ve beden dilini etkili şekilde kullanmak gibi stratejiler iletişim sürecini kolaylaştırabilir (Simmons-Mackie & Kagan, 2018). Ayrıca, iletişimi kolaylaştırıcı teknolojik araçlar ve afazi terapileri sayesinde hastaların iletişim becerilerinde anlamlı

ilerlemeler sağlanabilmektedir. Etkili iletişim, sadece hastanın psikolojik iyilik halini değil, aynı zamanda bakımın kalitesini ve hasta-bakım verici iş birliğini de olumlu yönde etkilemektedir (Cruice et al., 2020).

İNME Lİ HASTALARDA SOLUNUM

İnme geçiren hastalarda motor kontrol kaybı yalnızca ekstremitelerle sınırlı kalmayıp, solunum kaslarını da etkileyebilir; bu durum da solunum fonksiyonlarında azalma, sekresyonların atılamaması ve pnömoni riskinde artış gibi ciddi komplikasyonlara neden olabilir (Zifko et al., 2021). Solunum kas gücünün azalması, özellikle hemiplejik bireylerde inspiratuvar kapasitenin düşmesine yol açarak oksijenlenme bozukluklarına sebep olabilir (Kim & Lee, 2020). Bu nedenle, hemşirelerin inme sonrası dönemde hastaların solunum fonksiyonlarını düzenli olarak değerlendirmeleri ve gerekirse solunum egzersizleri, pozisyonlama ve bronşial hijyen teknikleri gibi müdahalelerle desteklemeleri büyük önem taşımaktadır (Vaz Fragoso et al., 2019). Ayrıca, solunum fizyoterapisi uygulamaları, sadece solunum fonksiyonlarını artırmakla kalmayıp, hastaların mobilizasyonunu kolaylaştırarak genel iyilik hallerine de olumlu katkı sunmaktadır (Huang et al., 2022).

İNME Lİ HASTALARDA BESLENME

İnme sonrası dönemde, bireylerde sıkça görülen yutma güçlüğü (disfaji), malnütrisyon ve aspirasyon pnömonisi gibi komplikasyonlara yol açarak hem iyileşme sürecini olumsuz etkiler hem de hastanede kalış süresini uzatır (Smithard et al., 2021). Bu nedenle, inmeli hastalarda beslenme durumunun erken dönemde değerlendirilmesi ve bireye uygun beslenme planlarının oluşturulması kritik öneme sahiptir. Özellikle yutma fonksiyonunun güvenli bir şekilde sürdürülebilmesi için beslenme şekli, kıvamı ve pozisyonlandırmaya dikkat edilmesi gerekir (Clavé & Shaker, 2020). Hemşireler bu süreçte, hastanın beslenme risklerini değerlendirerek, enteral ya da oral yolla güvenli beslenme stratejileri uygulamalı ve diğer disiplinlerle (diyetisyen, konuşma terapisti) iş birliği içinde çalışmalıdır (Martineau et al., 2019). Uygun beslenme yönetimi, inme sonrası komplikasyonları azaltırken hastanın genel sağlığını ve yaşam kalitesini de önemli ölçüde artırmaktadır.

İNME Lİ HASTALARDA BOŞALTIM

İnme geçiren bireylerde nörolojik hasara bağlı olarak idrar ve dışkı kontrolünde bozulmalar sık görülmekte; bu durum hastalarda inkontinans, konstipasyon ve üriner retansiyon gibi boşaltım problemlerine yol açmaktadır (Cameron et al., 2020). Bu sorunlar yalnızca fiziksel sağlığı değil, aynı zamanda bireyin psikososyal durumunu ve yaşam kalitesini de olumsuz etkileyebilir. İnkontinansın neden olduğu utanç duygusu, sosyal izolasyon ve depresyon gibi durumlarla sık karşılaşmaktadır (Thomas et al., 2019). Hemşireler bu süreçte, boşaltım fonksiyonlarını değerlendirmeli, mesane ve bağırsak eğitimi gibi müdahalelerle hastaların kontrol becerilerini desteklemeli ve gerekirse mesane programları ya da yardımcı cihaz kullanımı konusunda rehberlik etmelidir (Hickling et al., 2021). Uygun bakım ve izlemle, boşaltım sorunlarının yönetimi mümkün olmakta, bu da hastanın bağımsızlığını ve yaşam kalitesini artırmaktadır.

İNME Lİ HASTALARDA HAREKET

İnme geçiren bireylerde motor fonksiyon kayıpları, özellikle hemipleji ya da hemiparezi gibi durumlar nedeniyle mobilite üzerinde ciddi kısıtlılıklara yol açar; bu da bireyin günlük yaşam aktivitelerinde bağımsızlığını kaybetmesine neden olur (Pollock et al., 2019). Uzun süreli immobilitate; kas atrofisi, eklem sertliğı, basınç yaraları ve tromboembolik komplikasyonlar gibi ikincil sağık sorunlarına zemin hazırlar (Veerbeek et al., 2021). Bu nedenle hemşirelerin ve rehabilitasyon ekibinin erken mobilizasyonu teşvik etmesi, bireyselleştirilmiş egzersiz programları uygulaması ve hastayı güvenli hareket ettirme tekniklerini öğretmesi oldukça önemlidir (Langhorne et al., 2020). Hareket kabiliyetinin mümkün olan en kısa sürede desteklenmesi, sadece fiziksel iyileşmeyi değıl, aynı zamanda bireyin özgüvenini ve sosyal katılımını da artırmaktadır. Ayrıca düzenli mobilizasyon, yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde kilit rol oynamaktadır.

SONUÇ

Sonuç olarak, inme sonrası bakım sürecinde bakım vericilerin sahip olması gereken bilgi ve beceriler çok boyutludur ve hastanın iyileşme sürecini doğırudan etkilemektedir. Etkili iletişim tekniklerinden güvenli evre düzenlemelerine, solunum desteğınden beslenme yönetimine, boşaltım ve mobiliteye kadar her bir günlük yaşam aktivitesine yönelik, bakım vericilerin bilgi gereksinimleri doğırutusunda ele alınmalıdır. Bu bilgilerin eksikliğı hem hasta hem de bakım verici açısından fiziksel, duygusal ve sosyal sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, hemşirelerin liderliğinde yürütülen eğıtim programları ve danışmanlık hizmetleri, bakım kalitesinin artırılmasında hayati rol oynamaktadır. Bakım vericilerin sürece aktif katılımı ve ihtiyaç duydukları bilgilerin sistemli bir şekilde sunulması hem hastanın fonksiyonel bağımsızlığının desteklenmesini hem de bakım vericinin bakım yükünün azaltılmasını sağılayarak her iki tarafın yaşam kalitesini yükseltecektir. Ayrıca, bakım vericilerinin psiko-sosyal destek almaları, onların stres düzeylerini azaltacak ve bakım kalitesini yükseltecektir.

KAYNAKÇA

Alligood, M. R. (2017). Nursing theorists and their work (9th ed.). Elsevier Health Sciences.

Bakas, T., Clark, P. C., Kelly-Hayes, M., King, R. B., Lutz, B. J., & Miller, E. L. (2014). Evidence for stroke family caregiver and dyad interventions. *Stroke*, 45(9), 2836–2852. <https://doi.org/10.1161/str.0000000000000033>

Brady, M. C., Kelly, H., Godwin, J., Enderby, P., & Campbell, P. (2016). Speech and language therapy for aphasia following stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (6), CD000425. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD000425.pub4>

Celik, S., Uar, H., & Yıldız, D. (2021). Evde bakım hizmeti alan bireylerin bakım verenlerinin bakım yükü. *Anadolu Hemşirelik ve Sağık Bilimleri Dergisi*, 24(1), 84-92. <https://doi.org/10.17049/ataunihem.820063>

- Clare, C.S. (2018). Role of the nurse in stroke rehabilitation. *Nursing Standard. Neurology / CPD Evidence&Practice*, 33(7), 59-66.
- Clavé, P., & Shaker, R. (2020). Dysphagia: Current reality and scope of the problem. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 17(10), 620–632. <https://doi.org/10.1038/s41575-020-0333-y>
- Cruice, M., Worrall, L., & Hickson, L. (2020). Measuring quality of life: Comparing family and friend perspectives. *Disability and Rehabilitation*, 42(10), 1401–1411. <https://doi.org/10.1080/09638288.2018.1515729>
- Demir, S., & Akyüz, M. (2020). İnme hastalarının yaşam kalitesi ve bakım gereksinimleri. *Turkish Journal of Cerebrovascular Diseases*, 26(1), 1-9. <https://doi.org/10.9739/tjcd.2020.1>
- Demir, S., Yıldız, M., & Aytakin, A. (2023). Evde bakıma muhtaç bireylere bakım verenlerin tükenmişlik düzeylerinin incelenmesi. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 10(1), 45-53. <https://doi.org/10.58163/sbmd.1245789>
- Egan, M., Dawley, L., Salmoni, A., & Hall, S. (2022). Creating safe home environments for stroke survivors: Occupational therapy perspectives. *Canadian Journal of Occupational Therapy*, 89(1), 44–53. <https://doi.org/10.1177/00084174211033521>
- Faria-Fortini, I., Basílio, M. L., Scianni, A. A., & Teixeira-Salmela, L. F. (2021). Risk factors for falls in stroke survivors: A systematic review with meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 102(3), 550–561. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.10.002>
- Feigin, V. L., Brainin, M., Norrving, B., Martins, S., Sacco, R. L., Hacke, W., Fisher, M., Pandian, J., & Lindsay, P., 2022, World Stroke Organization (WSO): global stroke fact sheet 2022, *International journal of stroke*, 17(1), 18-29.
- Huang, Y. C., Chen, Y. J., & Hsieh, Y. W. (2022). Effects of respiratory muscle training on stroke survivors: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Clinical Rehabilitation*, 36(5), 588–600. <https://doi.org/10.1177/02692155211062432>
- Karakurt, P., & Ünsal, A. (2019). İnme hastalarına bakım verenlerin bakım yükü ve etkileyen faktörler. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(3), 344-353. <https://doi.org/10.37989/gumussagbil>
- Katan, M., & Luft, A. (2018). Global burden of stroke. *Seminars in Neurology*, 38(2), 208-211. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1649503>
- Kim, K., & Lee, H. (2020). Effects of breathing training on respiratory muscle activity and pulmonary function in stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 32(7), 450–455. <https://doi.org/10.1589/jpts.32.450>
- Langhorne, P., Bernhardt, J., & Kwakkel, G. (2020). Stroke rehabilitation. *The Lancet*, 396(10267), 129–142. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31367-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31367-3)

Lim JH, Lee HS, Song CS. Home-based rehabilitation programs on postural balance, walking, and quality of life in patients with stroke: a singleblind, randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2021;100(35):e27154. doi: 10.1097/MD.00000000000027154.

Lobo, M. D., Moreira, M. C. S., & Lopes, R. E. (2023). Information, involvement, self-care and support—The needs of caregivers of people with stroke: A grounded theory approach. *Journal of Clinical Nursing*, 32(5-6), e12345. <https://doi.org/10.1111/jocn.17023>

Martineau, J., Bauer, J., Isenring, E., & Cohen, S. (2019). Malnutrition determined by the Patient-Generated Subjective Global Assessment is associated with poor outcomes in stroke patients: A systematic review. *Clinical Nutrition*, 38(5), 2111–2118. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.09.008>

Özcan, S., & Akyol, A. D. (2022). Kronik hastalığı olan bireylere bakım verenlerin yaşam kaliteleri ve etkileyen faktörler. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 19(2), 121-129. <https://doi.org/10.5222/HEAD.2022.50092>

Öztürk, S., & Arslan, S. (2019). İnme sonrası rehabilitasyon ve hemşirenin rolü. *Turkish Journal of Neurology*, 25(2), 100-105. <https://doi.org/10.4274/tnd.2019.25349>

Pollock, A., Baer, G., Campbell, P., Choo, P. L., Forster, A., Morris, J., ... & Langhorne, P. (2019). Physical rehabilitation approaches for the recovery of function and mobility following stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, (10), CD001920. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD001920.pub4>

Simmons-Mackie, N., & Kagan, A. (2018). Application of the ICF in aphasia rehabilitation: Reducing disability and enhancing participation. *Aphasiology*, 32(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/02687038.2017.1362743>

Smithard, D. G., O'Neill, P. A., & Park, C. L. (2021). The role of dysphagia and malnutrition in stroke recovery. *Age and Ageing*, 50(4), 1065–1072. <https://doi.org/10.1093/ageing/afab014>

Taşdelen, P., & Ateş, M. (2016). Evde bakıma muhtaç yaşlılara bakım verenlerin yaşadıkları güçlükler. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5(1), 26-39.

Tsai, P.-C., Yip, P.-K., Tai, J. J., & Lou, M.-F. (2015). Needs of family caregivers of stroke patients: A longitudinal study of caregivers' perspectives. *Patient Preference and Adherence*, 9, 449–457. <https://doi.org/10.2147/PPA.S77713>

Tuncay FÖ, Mollaoğlu M (2006). The effect of a self-care education program on cerebrovascular disease patients' activities of daily living. *Neurology Psychiatry and Brain Research* 13(2):83-88

Veerbeek, J. M., van Wegen, E., van Peppen, R., van der Wees, P. J., Hendriks, E., Rietberg, M., & Kwakkel, G. (2021). What is the evidence for physical therapy poststroke? A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 16(5), e0250493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250493>

Vaz Fragoso, C. A., Gill, T. M., & McAvay, G. J. (2019). Respiratory impairment and dyspnea and their associations with physical function and disability in older persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 67(4), 734–740. <https://doi.org/10.1111/jgs.15725>

Yıldız, E., & Öztürk, D. (2020). Bakım veren bireylerin bakım yükü ve etkileyen faktörler. *Türkiye Klinikleri Hemşirelik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 221-227. <https://doi.org/10.5336/nurses.2020-75928>

Zhang, Y., et al. (2019). A newly designed intensive caregiver education program reduces cognitive impairment, anxiety, and depression in patients with acute ischemic stroke. *Frontiers in Neurology*, 10.

Zifko, U. A., Frauscher, B., & Eberhard, P. (2021). Neurological control of breathing and respiratory complications in stroke. *Respiration*, 100(5), 407–414. <https://doi.org/10.1159/000514933>

YOĞUN BAKIM ÜNİTELERİNDE HEMŞİRELİK BAKIM-UYGULAMA PROTOKOLLERİ

Mesut DİREK¹, Mukadder MOLLAOĞLU²

ORCID iDs of the authors: M.D. 0000-0002-1801-2726; M.M. 0000-0002-9264-3059

¹Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Sivas / Türkiye

²Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Sivas / Türkiye

ÖZET

Yoğun bakım üniteleri (YBÜ), kritik hastaların tedavi edildiği ve sürekli izlem gerektiren özel alanlardır. Bu ünitelerde sunulan hemşirelik bakımı, hastaların yaşamlarını sürdürebilmeleri için hayati öneme sahiptir. Hemşirelerin, YBÜ'deki hasta bakım süreçlerinde hem teorik bilgiye hem de uygulama yeteneğine sahip olmaları gerekmektedir. Yoğun bakım ünitelerinde hemşirelik bakım ve uygulama protokollerinin önemi, temel ilkeleri ve uygulanması gereken kritik yaklaşımları incelemektedir. Hemşirelik bakım protokolleri, hastaların tedavi süreçlerinin düzenli, etkili ve güvenli bir şekilde yürütülmesini sağlamaya yönelik olarak hazırlanmış rehberlerdir. Yoğun bakım ünitelerinde hemşirelik bakım protokollerinin uygulanması hem hasta güvenliğini hem de bakım kalitesini artıran önemli bir faktördür. Bu protokoller, vücut bakım, aspirasyon, invaziv uygulamalar, yara bakımı ve pozisyon konularını kapsamaktadır. Protokollerin doğru uygulanması, hasta güvenliğini artırırken, komplikasyonların önlenmesine ve tedavi sürecinin hızlanmasına katkı sağlar. Ayrıca, hemşirelerin YBÜ'de karşılaştıkları zorlukları, protokollerin geliştirilmesindeki rollerini ve sürekli eğitim ile güncel bilgiye erişimlerinin önemini vurgulamaktadır. Yoğun bakım ünitelerinde sunulan hemşirelik bakımının standardizasyonu ve kanıta dayalı hemşirelik bakımının sunumu için bakım uygulama protokollerinin geliştirilmesi ve uygulanması son derece önemlidir.

Anahtar kelimeler: Yoğun Bakım, Bakım-Uygulama Protokolleri, Hemşirelik

ABSTRACT

Intensive Care Units (ICU) are specialized clinical settings where critically ill patients receive treatment and require continuous monitoring. The nursing care provided in these units is of vital importance for the maintenance of patients' lives. Nurses working in ICU must be equipped with both comprehensive theoretical knowledge and advanced clinical skills to effectively manage patient care processes. This paper explores the significance of nursing care and clinical practice protocols in ICU, emphasizing their core principles and critical approaches required for effective implementation. Nursing care protocols are systematically developed guidelines intended to ensure that patient care is delivered in a structured, efficient, and safe manner. The application of these protocols in intensive care settings constitutes a key factor in enhancing patient safety and improving the overall quality of care. These protocols encompass a wide range of nursing interventions, including body hygiene, airway suctioning, invasive procedures,

wound care, and patient positioning. Accurate and consistent implementation of these protocols contributes to minimizing the risk of complications and facilitates a more efficient treatment process. Moreover, the discussion highlights the challenges nurses encounter in ICU, their roles in the development and refinement of care protocols, and the critical importance of ongoing education and access to current, evidence-based information. The standardization of nursing care practices and the integration of evidence-based approaches in ICU necessitate the development and implementation of well-defined clinical practice protocols.

Keywords: Intensive Care, Care-Practice Protocols, Nursing

GİRİŞ

Yoğun bakım üniteleri, hayati tehlike taşıyan hastaların tedavi edildiği, yüksek düzeyde özel bakım ve sürekli izlem gerektiren sağlık ortamlarıdır. YBÜ’de sunulan hemşirelik bakımı, hastaların yaşamlarını sürdürebilmeleri, tedavi süreçlerinin başarıyla tamamlanabilmesi ve komplikasyonların önlenmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Yoğun bakım, yüksek riskli hastalarla çalışmayı gerektirdiği için, hemşirelerin klinik bilgi, teknik beceri ve hızlı karar verme yeteneklerine sahip olmaları büyük önem taşır. (Candaş ve Gürsoy, 2017)

Yoğun bakım ünitelerinde hemşirelik bakım protokollerinin uygulanması hem hasta güvenliğini hem de bakım kalitesini artıran önemli bir faktördür. Bu protokoller, hastaların tedavi süreçlerinin belirli standartlara göre yürütülmesini sağlayarak, hemşirelerin bakım kararlarını düzenlemelerine ve klinik pratiğe dayalı müdahalelerde bulunmalarına rehberlik eder. Yoğun Bakım Ünitelerinde hemşirelik bakım uygulama protokollerini hemşirelerin iş yükünü hafiflettiği, hastaların iyileşme süreçlerine katkıda bulunduğu ve sağlık hizmetleri sunumunda standart sağladığı güncel literatürde karşımıza çıkmaktadır. Yoğun bakım ünitelerindeki bakımda karşılaşılan zorluklar, hemşirelerin multidisipliner bir yaklaşımla çalışmalarını gerektirdiği ve protokollerin etkin bir şekilde uygulanmasının sağlık hizmetlerinde kaliteli sonuçlar doğurduğu vurgulanmaktadır. (Kocaman ve Yürümezoğlu Arslan,2019; Usluoğlu ve Güngörmüş,2018)

AĞIZ BAKIM PROTOKOLÜ

Yoğun bakım hastalarında ağız bakımı, hastaların genel sağlık durumu ve iyileşme süreçleri üzerinde oldukça etkilidir. Ağız hijyeninin sağlanması, enfeksiyon risklerini azaltmak, hastaların konforunu artırmak ve iyileşme süreçlerini desteklemek için son derece önemlidir. Düzenli ve doğru uygulanan ağız bakımı, hastaların genel sağlık durumunun iyileşmesine katkı sağlar. (Hong at all,2019)

AĞIZ BAKIM ENDİKASYONLARI

Mekanik ventilatöre bağlı hastalarda, ağızda biriken bakteriler solunum yollarına ulaşarak ventilatörle ilişkili pnömoni (VİP) riskini artırabilir. Bilinç kaybı yaşayan veya sedasyon alan

hastalar ise kendi ağız bakımlarını yapamayacakları için düzenli profesyonel ağız bakımına ihtiyaç duyarlar. Uzun süreli yatak istirahati gereken hastalarda hareket kısıtlılığı nedeniyle ağız hijyeninin sağlanamaması enfeksiyon riskini artırır; bu nedenle ağız bakımı hem enfeksiyonların önlenmesi hem de hastaların konforunun artırılması açısından önemlidir. Oksijen tedavisi alan hastalarda ağız kuruluğu ve mukozal yaralanma riski artar, düzenli ağız bakımı bu sorunların önlenmesine yardımcı olur. Diş eti hastalıkları veya ağız enfeksiyonu riski taşıyan hastalarda ise düzenli ağız bakımı enfeksiyonları önlemeye ve ağız sağlığını korumaya katkı sağlar. Ağız kuruluğu ve mukozal yaralanma riski taşıyan hastalarda da ağız bakımı, mukozal sağlığın korunmasına ve iyileşme sürecinin desteklenmesine yardımcı olur. Bu endikasyonlar doğrultusunda, yoğun bakım hastalarında ağız bakımı, enfeksiyon risklerini azaltmak, hastaların konforunu artırmak ve iyileşme süreçlerini desteklemek için düzenli ve doğru bir şekilde uygulanmalıdır (Berk ve ark., 2020; Özveren ve Uçar, 2017).

AĞIZ BAKIMINDA KULLANILAN MALZEMELER

- Non-steril eldiven
- Böbrek küvet
- Diş fırçası
- Ağız bakım setleri
- Ağız bakım çubukları (oral swabs)
- Abeslang (dil basacağı)
- Ağız bakım solüsyonları (serum fizyolojik, sodyumbikarbonat, klorheksidinli ağız bakım solüsyonları)
- Nelaton sonda (aspirasyon için)
- Steril spanç
- Order edilen ilaçlar (örn: fungostatin vb.)
- Ağız ve dudak nemlendiricileri (Özveren ve Uçar,2017; Şenoğlu,2019)

AĞIZ BAKIM UYGULAMALARI

- Bilinci açık hastalara yapılan işlem hakkında bilgilendirme yapılır.
- El hijyeni sağlanır ve eldiven giyilir.
- Hastaya uygun pozisyon verilir (bilinci açık hastada oturur pozisyon, entübe hastada 30-45 derece)
- Dil basacağı kullanılarak hastanın ağız içi (dil, diş, ağız mukozası, diş etleri, dudak ve dişeti) değerlendirilir.
- Hastanın protezi varsa, çıkarılıp temizlenmeli ve ağız bakımı sırasında uygun şekilde muhafaza edilmelidir.
- Ağız bakımı sırasında hastanın ağzını açmak için uygun teknikler kullanılmalıdır.
- Ağız içi travma ve diş kırıklarını önlemek için dikkatli olunmalıdır.
- Ağız bakımında kullanılan malzemelerin seçimi, hastanın genel sağlık durumu ve özel ihtiyaçlarına göre belirlenmelidir.

- Hastanın ağız içi aspirasyonu yapılır.
- Uygun solüsyon ile ağız içi temizlenir.
- Dişler fırçalanır.
- Diş etleri ve dil üzeri temizlenir.
- Her ağız bakım çubuğu 1 kez kullanılır.
- Aspirasyon ihtiyacı varsa tekrar aspire edilir.
- Varsa order edilen ilaçlar uygulanır.
- Ağız ve dudaklar nemlendirilir.
- Entübe ise endotrekeal tüp uygun pozisyonda sabitlenir.
- Bilinci açık ise kendi bakımına katılması sağlanır.
- Ağız içi temizlendikten sonra hastanın pozisyonu düzeltilmeli ve rahatlaması sağlanmalıdır.
- Kullanılan malzemeler uygun şekilde atılmalı ve eller tekrar yıkanmalıdır. (Özveren ve Uçar,2017; Şenoğlu,2019)

GÖZ BAKIMI

Yoğun bakım hastalarında göz bakımı, hastaların genel sağlık durumunu iyileştirmek ve komplikasyonları önlemek için kritik bir öneme sahiptir. Yoğun bakım ortamında, hastaların göz koruyucu mekanizmaları bozulabilir, bu da çeşitli göz komplikasyonlarına yol açabilir (Uyar, 2021; Cabrera et al., 2022). Yoğun bakım hastalarında, göz kapaklarının kapanmaması veya yetersiz kapanması nedeniyle kornea kuruluğu ve hasarı riski artar. Düzenli göz bakımı, korneanın korunmasına yardımcı olur (Güler & Özkan, 2021). Gözyaşı üretiminin azalması ve göz kapaklarının tam kapanmaması, göz enfeksiyonlarına zemin hazırlayabilir. Göz bakımı, bu enfeksiyonların önlenmesine katkı sağlar (Alavi et al., 2022). Göz komplikasyonları, hastaların görme yetilerini olumsuz etkileyebilir. Düzenli göz bakımı, görme fonksiyonlarının korunmasına yardımcı olur. Göz kuruluğu ve enfeksiyonlar, hastaların konforunu azaltabilir. Göz bakımı, bu sorunların önlenmesine ve hastaların yaşam kalitesinin artırılmasına katkı sağlar (Güler & Özkan, 2021). Yoğun bakım hastalarında göz bakımı, hastaların genel sağlık durumunu iyileştirmek ve komplikasyonları önlemek için kritik bir öneme sahiptir. Düzenli ve doğru uygulanan göz bakımı, hastaların yaşam kalitesini artırır ve iyileşme süreçlerini destekler. Bir protokol doğrultusunda uygulanan göz bakımı, hastaların bütüncül değerlendirilmesi ve göz sağlığının korunması için önemlidir (Alavi et al., 2022).

BURUN BAKIMI

Yoğun bakım hastalarında burun bakımı, hastaların genel sağlık durumunu iyileştirir ve komplikasyonları önler. Yoğun bakım ortamında, hastaların burun koruyucu mekanizmaları bozulabilir, bu da çeşitli burun ve solunum yolu komplikasyonlarına yol açabilir (Candaş & Gürsoy, 2017; Çelik, 2014; Özkan & Çelik, 2021). Burun, havanın nemlendirilmesi, ısıtılması ve filtrelenmesinde önemli bir rol oynar. Burun tıkanıklığı, bu fonksiyonları olumsuz etkileyebilir (Black & Hawks, 2014). Burun bakımı, solunum fonksiyonlarının desteklenmesine yardımcı olur. Yoğun bakım hastalarında, özellikle mekanik ventilasyon desteği alanlarda,

burun tıkanıklığı ve mukus birikimi sık görülen sorunlardır. Bu durum, solunum yollarının tıkanmasına ve oksijen alımının azalmasına neden olabilir (Ayhan & Karadağ, 2019). Düzenli burun bakımı, hava yolunun açık tutulmasına yardımcı olur. Burun mukozası, vücudun ilk savunma hattıdır. Mekanik ventilasyon ve diğer invaziv işlemler, burun mukozasının hasar görmesine ve enfeksiyon riskinin artmasına neden olabilir. Burun bakımının ihmal edilmesi, bu riskleri artırabilir (Ozdemir & Uyar, 2020). Burun tıkanıklığı ve mukus birikimi, hastalarda rahatsızlık ve uyku problemlerine yol açabilir. Düzenli burun bakımı, hastaların konforunu artırır ve iyileşme süreçlerini destekler. Düzenli ve doğru uygulanan burun bakımı, yoğun bakım hastalarının iyileşme süreçlerini destekler ve komplikasyon risklerini azaltır.

KULAK BAKIMI

Yoğun bakım hastalarında kulak bakımı, hastaların genel sağlık durumunu iyileştirmek ve komplikasyonları önlemek için kritik bir öneme sahiptir. Yoğun bakım ortamında, hastaların kulak koruyucu mekanizmaları bozulabilir, bu da çeşitli kulak ve işitme yolu komplikasyonlarına yol açabilir. Yoğun bakım ünitelerinde, yüksek ses seviyeleri ve sürekli gürültü, hastaların işitme duyusunu olumsuz etkileyebilir. Yoğun bakım ortamındaki gürültü, hastaların uyku düzenini bozabilir. Kulak tıkacı kullanımı, dışarıdan gelen sesleri engelleyerek hastaların daha kaliteli bir uyku uyumalarına yardımcı olur. *Düzenli* ve doğru uygulanan kulak bakımı, yoğun bakım hastalarının iyileşme süreçlerini destekler ve komplikasyon risklerini azaltır. (Kocaman ve Yürümezoğlu Arslan,2019; Usluoğlu ve Güngörmüş,2018)

PERİNE BAKIMI

Yoğun bakım hastalarında perine bakımı, hastanın genel sağlığını korumak, enfeksiyonları önlemek ve rahatlığını artırmak açısından önemlidir. Yoğun bakımda yatan hastalar genellikle uzun süreli yatak istirahati yapar, hareketlilikleri kısıtlanır ve bazen bilinç kaybı veya mekanik ventilasyon gibi durumlar nedeniyle kişisel hijyenlerini gerçekleştiremezler. Bu nedenle, perine bakımının düzenli olarak yapılması, hastaların fiziksel ve psikolojik iyilik halleri için büyük önem taşır. Yoğun bakım hastalarında perine bakımı, enfeksiyonları önlemek, basınç yaralarını engellemek, hastaların konforunu artırmak ve genel sağlıklarını korumak için kritik bir adımdır. Düzenli bakım ve dikkatli hijyen uygulamaları, bu hastaların iyileşme süreçlerini destekler ve yaşam kalitelerini iyileştirir. (Şen ve ark.2019; Şenoğlu,2019)

VÜCUT SİLME VE YATAK BANYOSU

Yoğun bakım hastalarında vücut silme ve yatak banyosu, hasta bakımının önemli bir parçasıdır ve çeşitli sağlık yararları sağlar. Bu işlemler hem hastanın fiziksel hem de psikolojik iyilik hali üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Vücut silme ve yatak banyosu, hastanın hijyenini sağlamak, enfeksiyon risklerini azaltmak, cilt sağlığını korumak ve hastanın genel konforunu artırmak için kritik uygulamalardır. Bu işlemler, hastaların genel sağlık durumlarını iyileştirebilir ve iyileşme süreçlerine olumlu katkı sağlar. (Uludağ, S., 2022; Veje at all,2020)

ASPIRASYON

Yoğun bakım ünitelerinde aspirasyon, solunum yollarındaki sıvıların, mukusun veya yabancı cisimlerin temizlenmesi amacıyla yapılan bir işlemdir. Bu işlem, özellikle entübe hastalar, trakeostomi açılmış bireyler ve solunum yetmezliği yaşayan hastalar için son derece önemlidir. Aspirasyon, hava yollarının açık tutulmasını ve oksijen alımının iyileştirilmesini sağlar, aynı zamanda enfeksiyon risklerini azaltır. Yoğun bakımda aspirasyon, hastaların solunum yollarındaki tıkanıklıkları temizleyerek, oksijen alımını ve genel solunum fonksiyonunu iyileştirir. Aynı zamanda, enfeksiyonları ve aspirasyon pnömonisi gibi komplikasyonları önler. Aspirasyon işlemi, doğru teknik ve hijyen kurallarına dikkat edilerek yapılmalıdır. (Afandi,2020; Şenoğlu,2019)

SONUÇ

Bu doğrultuda, yoğun bakım ünitelerinde hemşirelik bakımının standardizasyonunu sağlamak amacıyla, yukarıda belirtilen alanların yanı sıra her bir kateter türüne yönelik (endotrakeal tüp bakımı, trakeostomi bakımı, periferik venöz kateter bakımı, arteriyel kateter bakımı, santral venöz kateter bakımı, üriner kateter bakımı, nazogastrik kateter bakımı, perkütan endoskopik gastrostomi kateter bakımı vb.) ayrıca yara bakımı, hasta pozisyonlandırılması ve elevasyonu gibi hemşirelik bakım uygulamalarında da, kanıta dayalı güncel bilgiler, rehberler ve kılavuzlar doğrultusunda bakım ve uygulama protokolleri oluşturularak klinik uygulamalara entegre edilmelidir.

KAYNAKÇA

Afandi, A. N., & Ludin, S. M. (2020). ICU nurses perceived knowledge, attitude, and practice on endotracheal suctioning: A preliminary study at a hospital in Pahang, Malaysia. *Malaysian Journal of Medical Research (MJMR)*, 4(4), 23–28.

Alavi, N. M., Ghorbani, R., & Shamsizadeh, M. (2022). The effect of eye care protocol on the prevention of ocular surface disorders in patients admitted to ICU. *Journal of Critical Care Nursing*, 15(3), 123–130.

Ayhan, H., & Karadağ, M. (2019). Mekanik ventilatörde olan hastalarda burun bakımı uygulamalarının incelenmesi. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi*, 23(1), 15–22.

Berk, D., Durna, Z., & Akın, S. (2020). Kemoterapi uygulanan kanser hastalarında ağız bakımı uygulamaları ve ağız bakım alışkanlıklarının değerlendirilmesi. *Sağlık ve Toplum*, 30(2), 54–63.

Black, J. M., & Hawks, J. H. (2014). *Medical-surgical nursing: Clinical management for positive outcomes* (8th ed.). Elsevier.

Cabrera-Aguas, M., Khoo, P., & Watson, S. L. (2022). Infectious keratitis: A review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 50(5), 543–562.

Cabrera, A., Smith, J., & Lee, K. (2022). Eye care in the intensive care unit: A comprehensive review. *International Journal of Critical Care*, 28(4), 456–462.

Candaş, B., & Gürsoy, A. (2017). Hemşireler için harekete geçme zamanı: Kanıta dayalı uygulamalardan bakım paketlerine. *Journal of Education & Research in Nursing/Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 14(3).

Candaş, B., & Gürsoy, T. (2017). Yoğun bakım ünitelerinde burun bakımının önemi. *Türk Yoğun Bakım Derneği Dergisi*, 15(2), 73–78.

Çelik, S. (2014). Yoğun bakım hastalarında burun ve hava yolu sağlığı yönetimi. *Sağlık Bilimleri ve Meslekleri Dergisi*, 1(1), 24–30.

Güler, N., & Özkan, S. (2021). Yoğun bakım hastalarında göz komplikasyonları ve göz bakımı. *Türk Yoğun Bakım Dergisi*, 19(2), 85–90.

Hong, C. H. L., et al. (2019). Systematic review of basic oral care for the management of oral mucositis in cancer patients and clinical practice guidelines. *Supportive Care in Cancer*, 27(10), 3949–3967.

Kocaman, G., & Yürümezoğlu Arslan, H. (2019). Kanıta dayalı bakım. In G. Can (Ed.), *Onkoloji hemşireliği – Güncellenmiş ve genişletilmiş baskı* (107th ed., pp. 1283–1294). Nobel Tıp Kitabevleri.

Özdemir, L., & Uyar, M. (2020). Yoğun bakım hastalarında burun ve hava yolu bakım protokolleri. *Kritik Bakım Hemşireliği Dergisi*, 12(2), 45–52.

Özkan, S., & Çelik, E. (2021). Yoğun bakım hastalarında nazal bakımın önemi: Derleme. *Hemşirelikte Eğitim ve Araştırma Dergisi*, 18(3), 210–215.

Özveren, H., & Uçar, H. (2017). Mekanik ventilatöre bağlı hastalarda üç farklı araçla verilen ağız bakımının etkisi. *Journal of Human Sciences*, 14(4), 4507–4519. <https://doi.org/10.14687/jhs.v14i4.4948>

Şen, S., Uğur, E., Afacan, S., & Sönmezoğlu, M. (2019). Yoğun bakım enfeksiyonlarının önlenmesinde bakım paketlerinin kullanımı. *Yoğun Bakım Hemşireliği Dergisi*, 23(1), 27–35.

Şenoğlu, N. (2019). Olgularla yoğun bakım protokolleri: Yoğun bakımda nazokomiyel ve ventilatör ile ilişkili pnömoni yönetimi. In *Olgularla Yoğun Bakım Protokolleri* (pp. 601–616). Nobel Tıp Kitabevi.

Uludağ, S. (2022). Yoğun bakım hastalarında iki banyo yönteminin yaşam bulguları ve oksijen satürasyonu üzerine etkisi (Yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Usluoğlu, H., & Güngörmüş, Z. (2018). Kanıta dayalı hemşirelik. *Social Sciences Studies Journal*, 21(4), 3420–3423.

Uyar, E. (2021). Yoğun bakım ünitesi hastalarında karşılaşılan göz problemleri ve yönetimi. In B. Hanedan & Ö. İlban (Eds.), *Yoğun bakımda klinik yaklaşımlar* (Bölüm 32, pp. 359–369). Akademisyen Kitabevi.

Veje, P. L., Chen, M., Jensen, C. S., Sørensen, J., & Primdahl, J. (2020). Effectiveness of two bed bath methods in removing microorganisms from hospitalized patients: A prospective randomized crossover study. *American Journal of Infection Control*, 48(6), 638–643.

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİ VE ŞARJ VERİMLİLİĞİNİN ANALİZİ

Feyyaz Alpsalaz¹, Emrah Aslan², Yıldırım Özupak³,

¹Bozok University, Akdağmadeni Vocational School, Electrical Department, Yozgat, Türkiye

²Mardin Artuklu University, Computer Engineering Department, Mardin, Türkiye

³Dicle University, Silvan Vocational School, Electrical Department, Diyarbakır, Türkiye

Email: feyyaz.alpsalaz@bozok.edu.tr, emrahaslan@artuklu.edu.tr,
yildirim.ozupak@dicle.edu.tr

Özet

Bu çalışma, elektrikli araçların yakıt tüketimi verilerinin kapsamlı analizini gerçekleştirerek, farklı parametrelerin performans üzerindeki etkilerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmada, şarj işlemleri, araç menzili ve entegre yakıt tüketimi gibi temel parametreler, çeşitli kullanım senaryoları ve araç segmentleri bazında detaylı olarak incelenmiştir. Verilerin analizinde, şarj süreleri, dolum oranları, batarya kapasitesi, sürüş koşulları ve çevresel etkenler gibi çok sayıda değişken dikkate alınmış ve bu parametreler arasındaki ilişkiler niceliksel olarak ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, özellikle şarj verimliliği ile araç menzili arasındaki anlamlı korelasyonları gözler önüne sermiş; aynı zamanda entegre yakıt tüketimi üzerinde etkili olan faktörlerin belirlenmesine olanak tanımıştır. Bu kapsamlı analiz, farklı kullanım senaryoları arasında gözlemlenen varyasyonların, enerji tüketimi ve performans parametreleri üzerindeki etkilerini detaylandırarak, segment bazında özelleştirilmiş enerji yönetim stratejilerinin geliştirilmesi için önemli bir temel oluşturmuştur. Sonuç olarak, çalışma, EMS uygulamalarının optimize edilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi açısından kritik veriler sunmakta, elde edilen bulgular hem teorik modeller hem de pratik uygulamalar için yol gösterici nitelikte değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araçlar, yakıt tüketimi, şarj verimliliği, sürdürülebilir ulaşım.

Analysis of Fuel Consumption and Charging Efficiency in Electric Vehicles

Abstract

This study aims to comprehensively analyze the fuel consumption data of electric vehicles, elucidating the effects of various parameters on performance. Key parameters such as charging processes, vehicle range, and integrated fuel consumption have been thoroughly examined across different usage scenarios and vehicle segments. The analysis incorporates numerous variables, including charging times, fill rates, battery capacity, driving conditions, and environmental factors, with the relationships between these parameters quantitatively assessed. The findings highlight significant correlations, particularly between charging efficiency and vehicle range, while also identifying factors influencing integrated fuel consumption. This detailed analysis elucidates the variations observed across different usage scenarios and their impacts on energy consumption and performance parameters, laying a critical foundation for the development of segment-specific energy management strategies. Ultimately, the study provides essential data for optimizing Energy Management System (EMS) applications, enhancing energy efficiency, and advancing sustainable transportation policies. The results are deemed valuable for both theoretical modeling and practical applications.

Keywords: Electric vehicles, fuel consumption, charging efficiency, sustainable transportation

1. Giriş

Elektrikli araçların sürdürülebilir ulaşım çözümleri içinde giderek daha önemli bir yer edinmesi, enerji yönetimi ve batarya verimliliği gibi konuların daha derinlemesine incelenmesini gerektirmektedir. Elektrikli araçların bataryalarının etkin yönetimi, enerji kullanımının optimize edilmesi ve şebeke üzerindeki yükün dengelenmesi, günümüz mühendislik çalışmalarının odak noktalarından biri haline gelmiştir. Mevcut çalışmalar, batarya performansını ve şarj sürelerini iyileştirmek için çeşitli yöntemler sunmuş olsa da, çok sayıda regresyon algoritmasının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine dayalı bir yaklaşımın sınırlı olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, enerji yönetim stratejilerini iyileştirmek için farklı makine öğrenmesi teknikleri kullanılmış ve EV'lerin enerji tüketimi ve batarya performansı üzerine etkileri analiz edilmiştir. Random Forest, Gradient Boosting ve XGBoost gibi farklı regresyon yöntemleri, EV'lerin şarj yönetimi ve enerji kullanımını tahmin etme süreçlerinde uygulanarak karşılaştırılmıştır. Çalışmanın temel amacı, farklı regresyon modellerinin performanslarını değerlendirerek en uygun EMS yaklaşımını belirlemek ve şarj sürelerini en aza indirirken batarya ömrünü maksimize eden bir sistem geliştirmektir. Literatürde EMS ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, sınırlı algoritmalar kullanılarak gerçekleştirildiğinden, bu araştırma kapsamlı bir karşılaştırma sunarak farklı yöntemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, elektrikli araçların enerji yönetim sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayarak gelecekteki mühendislik çözümlerine yol gösterecektir.

Elektrikli araç teknolojilerinin hızla yaygınlaşması, batarya sağlığı, performans ve ömür tahminlerinde yenilikçi yöntemlere duyulan ihtiyacı artırmıştır [1]. Batarya verimliliği ve güvenilirliği, hem çevresel hem de ekonomik açıdan kritik öneme sahip olup [2], doğru ve zamanında tahmin yapılabilmesi için gelişmiş makine öğrenmesi tekniklerine başvurulmaktadır [3]. Literatürde, çeşitli regresyon modelleri kullanılarak yapılan çalışmalar, batarya durumunun izlenmesi ve performans tahminlerinde önemli başarılar elde etmiştir [4]. Ancak mevcut yaklaşımlar genellikle tek veya sınırlı sayıda modelin kullanıldığı çalışmalara odaklanmaktadır [5]. Yaghoubi ve ark. çalışmasında, EV şarj tahmini için ML ve DL teknikleri, geniş literatür taraması ve metodolojik sınıflandırma ile incelenmiş; ensemble öğrenme, diğer yöntemlere göre belirgin derecede üstün performans göstermiştir [6]. Mazhar ve ark., akıllı şehirlerde elektrikli araç (EV) şarj yönetimi için makine öğrenimi (ML) tabanlı bir sistem önermişlerdir. Çalışmada, geleneksel şarj, hızlı şarj ve araçtan şebekeye (V2G) teknolojileri ele alınmıştır. LSTM, DNN, KNN, RF, SVM ve DT gibi ML yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, LSTM'nin yük eğrisini optimize ederek tepe gerilimini, güç kayıplarını ve maliyetleri düşürdüğünü göstermiştir [7]. Ullah ve ark., elektrikli araç şarj sürelerini tahmin etmek için XGBoost, random forest gibi dört EML algoritması kullandı. Japonya'dan 500 EV'nin 2 yıllık verisiyle normal ve hızlı şarj modları analiz edildi. XGBoost en başarılı model oldu. SHAP ile sonuçlar yorumlandı [8]. Naresh ve ark., elektrikli araç bataryalarının performansını optimize etmek için ML tekniklerini inceledi. SoC, SoH, SoF, RUL gibi faktörler ele alınarak veri toplama ve hazırlama yöntemleri önerildi. Gerçek zamanlı izleme ve enerji kullanımında ML modellerinin etkisi vurgulandı [9]. Das ve ark., lityum-iyon bataryaların sağlık durumu tahmini için KNN, SVR, DT ve RF algoritmalarını karşılaştırmıştır. Sandia veri setiyle doğrulanan çalışmada, KNN ve DT en yüksek doğruluğu sağlamıştır. Çalışma, yenilikçi batarya izleme sistemlerinin geliştirilmesi için veri paylaşımını vurgulamaktadır [10]. Zhang ve ark., lityum-iyon bataryalarda hızlı şarj ve uzun ömür hedeflerini birleştiren bir yöntem önermiştir. Bu yöntem, plaka potansiyelinin gerçek zamanlı kontrolünü içerir. Çalışma, şarj hızını %30

arttırırken batarya ömrünü iki katına çıkarabilmiştir. Önerilen makine öğrenimi modeli, 3.37 mV hata oranıyla yüksek doğruluk sağlamıştır [11].

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, batarya performansı ve ömür tahmini için farklı makine öğrenmesi tabanlı regresyon modelleri kullanılmış ve kapsamlı bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Random Forest, Gradient Boosting ve XGBoost algoritmaları bu amaçla seçilmiştir. Veri seti, bataryaların gerilim, akım ve sıcaklık gibi doğrudan ölçülebilir parametrelerini içermekte ve bu parametrelerden hareketle model eğitimi yapılmıştır. Modelleme süreci, veri ön işleme, özellik seçimi, model eğitimi ve değerlendirme aşamalarını kapsamaktadır. Her bir algoritmanın performansı, doğruluk, hata metrikleri ve hesaplama maliyeti açısından değerlendirilmiş; sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

2.1. Batarya

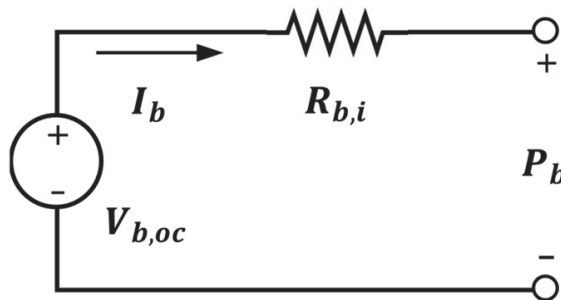
Gerekli gücün son derece düşük olduğu durumlarda, BOP (yardımcı güç ünitesi) gücü, yakıt hücresi yığını gücünden daha fazla olabilir; bu nedenle yakıt hücresi sistemi kullanılamaz. Bir batarya kullanılarak, düşük güç talepli senaryolarda ortaya çıkan sorunlar çözülebilir. Ayrıca batarya, yakıt hücresi sistemi tarafından üretilen fazla enerjiyi ve rejeneratif (geri kazanımlı) frenleme enerjisini depolayabilir. Bu çalışmada, yüksek güç yoğunluklu bir lityum-iyon batarya kullanılmıştır. Batarya tasarımı, Şarj Durumu (SoC) tabanlı açık devre voltajı (OCV) verileri ve iç direnç göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer devre modeli ve batarya karakteristikleri Şekil 6'da gösterilmiş olup, batarya durumunu hesaplamak için Denklemler (1) ~ (4) kullanılmıştır [12].

$$V_{b,oc} = V_b - I_b R_{b,i} \quad (1)$$

$$P_b = V_{b,oc} I_b - R_{b,i} I_b^2 \quad (2)$$

$$I_b = \frac{V_{b,oc} - \sqrt{V_{b,oc}^2 - 4P_b R_{b,i}}}{2R_{b,i}} \quad (3)$$

$$SoC_b = SoC_{b,init} - \frac{\int I_b}{3600 \times C_b} \quad (4)$$

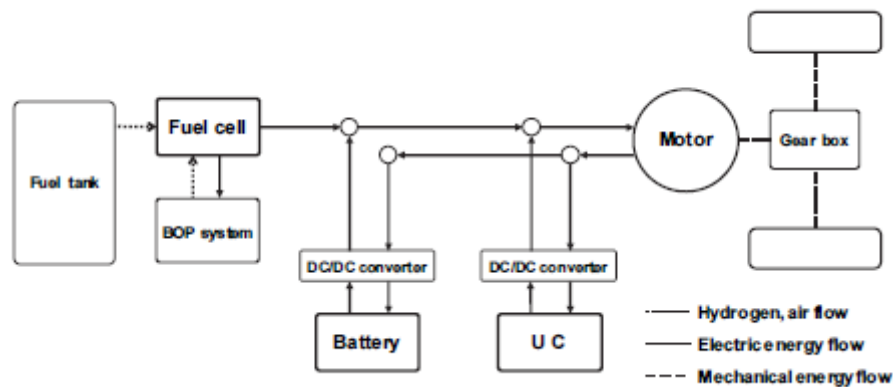


Şekil 1. Eşdeğer batarya devresi

$V_{b,oc}$, V_b , I_b , $R_{b,i}$, P_b , SoC_b , C_b sırasıyla, pilin açık devre gerilimini (OCV), pilin terminal gerilimini, pilin akımını, pilin iç direncini, pilin gücünü, pilin başlangıç SoC'ini (Durum-of-Şarj) ve pilin nominal kapasitesini temsil eder.

2.2 Enerji Yönetim Stratejisi (EMS)

Enerji Yönetim Stratejisi (EMS), elektrikli araçlar ve diğer enerji sistemlerinde, enerji kaynaklarının verimli, dengeli ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak amacıyla geliştirilmiş kapsamlı bir yaklaşımdır. EMS, batarya şarj-deşarj süreçlerinin, enerji tüketiminin ve dağıtımının optimize edilmesinde kritik rol oynar. Bu çalışmada, EMS kapsamında batarya performansı, şarj durumu ve enerji tüketimi gibi parametrelerin tahmininde kullanılacak on farklı regresyon modelinin (Logistic Regression, K-Nearest Neighbors, Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost, CatBoost, AdaBoost, Support Vector Machine ve Naive Bayes) karşılaştırmalı analizi yapılacaktır. Amaç, her modelin tahmin doğruluğu ve hesaplama verimliliğini değerlendirerek, EMS uygulamalarında en uygun stratejinin belirlenmesine katkıda bulunmaktır.



Şekil 2. Genel güç aktarma yapısı

2.3 Veriseti

Bu veri seti, elektrikli araç şarj olaylarına ilişkin detaylı ve çok boyutlu analizlere imkan tanıyan 1320 örneklem ve 20 değişkenden oluşan kapsamlı bir veri topluluğu sunmaktadır. Veri setinde yer alan temel parametreler arasında, her kullanıcı için benzersiz olarak tanımlanan “User ID”, araç modelini belirten “Vehicle Model” ve aracın toplam batarya kapasitesini (kWh cinsinden) ifade eden “Battery Capacity (kWh)” yer almaktadır. Bu temel bilgilerin yanı sıra, şarj işleminin gerçekleştiği istasyonla ilgili “Charging Station ID” ve coğrafi konumu belirten “Charging Station Location” değişkenleri, şarj işlemlerinin mekansal dağılımının incelenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, şarj başlangıç ve bitiş zamanlarını gösteren “Charging Start Time” ve “Charging End Time” sütunları, işlem süresinin ve enerji tüketim dinamiklerinin analizinde kritik rol oynamaktadır. “Energy Consumed (kWh)”, “Charging Duration (hours)” ve “Charging Rate (kW)” gibi değişkenler, şarj seansları sırasında tüketilen enerji miktarı, geçen süre ve ortalama güç dağıtımını ortaya koyarken; “Charging Cost (USD)” değişkeni, ekonomik maliyetin değerlendirilmesine imkan vermektedir. Veri setinde yer alan “Time of Day” ve “Day

of Week” gibi zaman odaklı bilgiler; “State of Charge (Start %)” ve “State of Charge (End %)” gibi batarya durum göstergeleri; ayrıca “Distance Driven (since last charge) (km)”, “Temperature (°C)”, “Vehicle Age (years)”, “Charger Type” ve “User Type” gibi ilave değişkenler, şarj davranışları, çevresel etkenler ve kullanıcı profilleri arasındaki ilişkilerin kapsamlı analizini mümkün kılmaktadır.

2.5 Random Forest

Random Forest, çoklu ağaçların oy çokluğu ile sonuç ürettiği topluluk yöntemidir. Aşırı öğrenmeye dayanıklı olup, yüksek genelleme sağlar. Hesaplama maliyeti artabilir; doğrulukta üstün performans sunar.

2.6 Gradient Boosting

Gradient Boosting, zayıf öğrencilerin ardışık kombinasyonu ile hataları minimize eder. Her iterasyonda model, önceki hataları telafi ederek güncellenir. Yüksek doğruluk ve esneklik sunar, ancak hesaplama maliyeti yüksektir.

2.7 XGBoost

XGBoost, gradient boosting yönteminin optimize edilmiş versiyonudur. Ağaç tabanlı model, kayıp fonksiyonunu minimize etmek için ardışık ağaç eklemeleri yapar. Hızlı eğitim süresi ve yüksek doğruluk ile öne çıkar.

3. Araştırma Bulguları

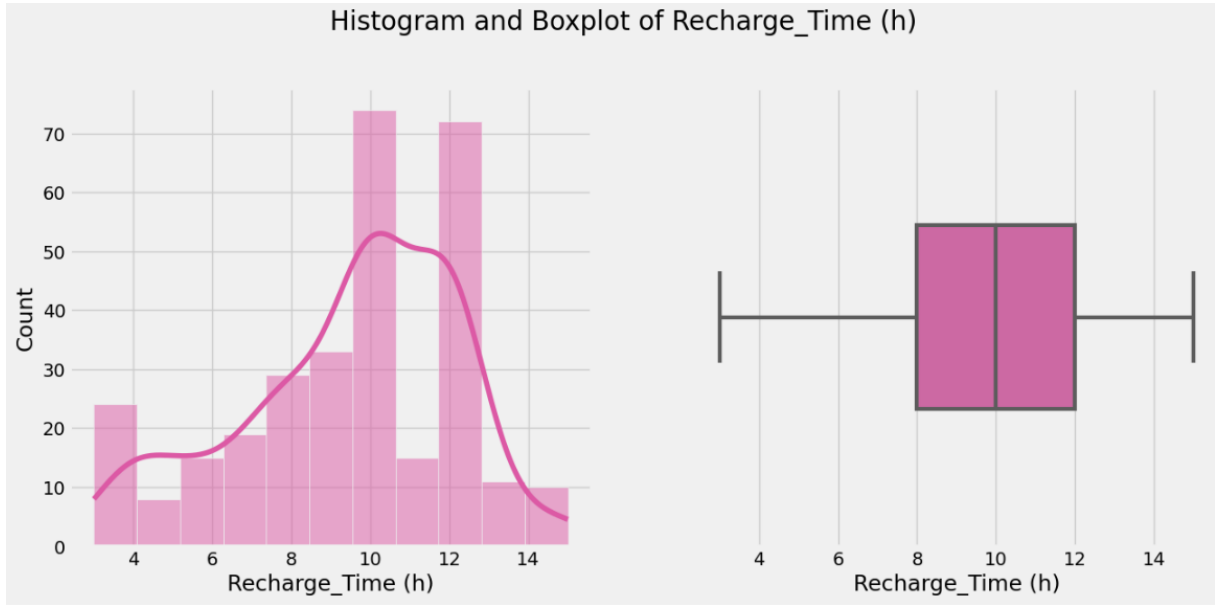
Deneyisel sonuçlar, farklı regresyon modellerinin performansını karşılaştırarak en uygun enerji yönetim stratejisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Logistic Regression, KNN ve Decision Tree gibi yöntemler enerji tüketimi tahmini için test edilmiş ve doğruluk, hata metriği ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, belirli algoritmaların veri setine göre daha iyi genelleştirme yapabildiğini ve EMS optimizasyonu için uygun yaklaşımlar sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, elektrikli araçlarda enerji yönetimini geliştirmek için rehber niteliğindedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar görsel olarak sunulmuştur. Şekil 3-Şekil 6 elde edilen sonuçları ifade etmektedir.

Şekil 3, elektrikli araçların şarj işlemlerine ilişkin veriler detaylı olarak incelenmektedir. Şarj süreleri, dolum oranları ve şarj altyapısının performansı gibi parametreler, farklı kullanım koşulları altında elde edilen veriler ışığında değerlendirilmiştir. Grafik, şarj işlemlerinin verimliliği ile ilgili gözlemleri ortaya koyarak, EMS (Enerji Yönetim Stratejisi) kapsamında şarj optimizasyonunun önemine vurgu yapmaktadır.

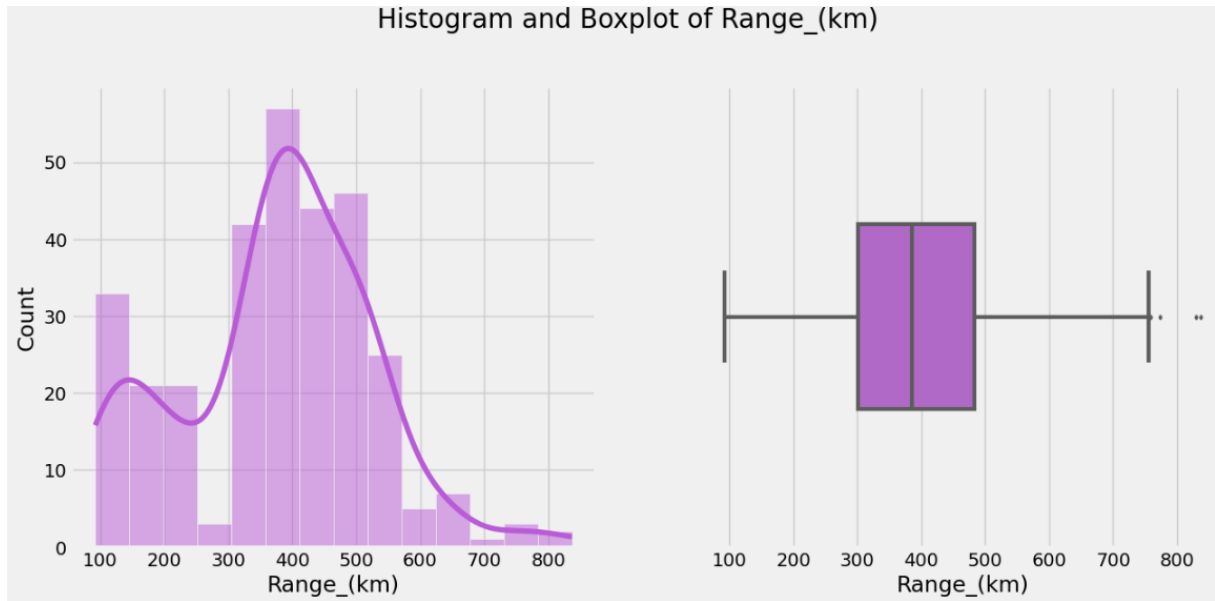
Şekil 4, elektrikli araçların menziline ilişkin istatistiksel dağılımı ortaya koymaktadır. Araç segmentlerine göre ortalama menzil değerleri ve bunların dağılımı, hata çubuklarıyla desteklenerek sunulmuştur. Grafik, araçların menzil performansını etkileyen faktörleri (örneğin, batarya kapasitesi ve şarj verimliliği) detaylı bir şekilde gözler önüne sermekte ve segmentler arasındaki farkları vurgulamaktadır.

Şekil 5, elektrikli araçların yakıt tüketiminin (enerji tüketiminin) entegre bir değerlendirmesini sunmaktadır. Şarj verimliliği, menzil ve diğer ilgili parametrelerin birleştirilerek hesaplanan

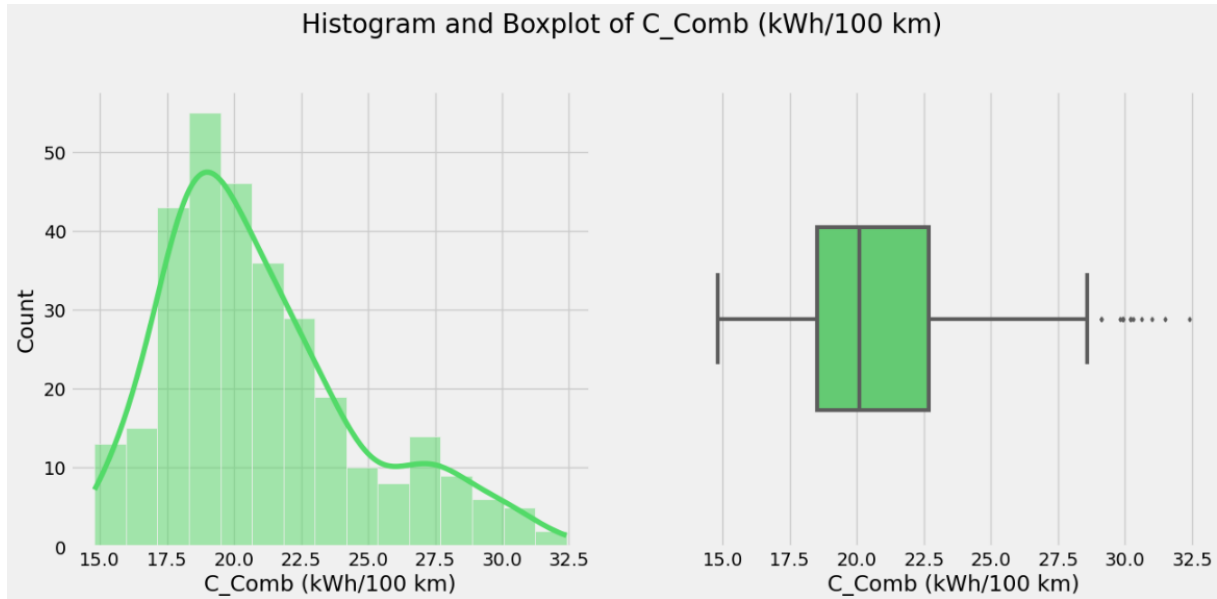
bütünleşik yakıt tüketimi, çeşitli kullanım koşullarında nasıl farklılık gösterdiğini grafiksel olarak ortaya koymaktadır. Bu analiz, EMS uygulamalarının optimize edilmesi için yakıt tüketimi üzerindeki etkilerin daha iyi anlaşılmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 3. Şarj işlemleri analizi



Şekil 4. Menzil (Km) analizi



Şekil 5. Bütünleşik yakıt tüketimi

Şekil 6, elektrikli araçların şarj verimliliği, menzil ve entegre yakıt tüketimi gibi temel parametreler arasındaki korelasyonlar detaylı olarak incelenmiştir. Korelasyon matrisi, her bir parametre arasındaki ilişkiyi nicel olarak ortaya koyarak, hangi etmenlerin yakıt tüketimi üzerinde daha belirgin etkisi olduğunu göstermektedir. Bu analiz, EMS stratejilerinin geliştirilmesinde hangi verilerin öncelikli olarak ele alınması gerektiğine dair önemli bilgiler sağlamaktadır.

	count	mean	median	std	min	25%	50%	75%	max	skewness	kurtosis
Model_Year	310	2019.206	2020	2.655	2012	2017	2020	2022	2022	-0.589622	-0.862082
Make	310	11.384	14	6.214	0	5.25	14	16	21	-0.492654	-1.365513
Model	310	73.632	72.5	40.897	0	37	72.5	110	147	-0.000755	-1.236259
Vehicle Class	310	3.371	2	2.373	0	1	2	5	8	0.219399	-1.190932
Motor_(kW)	310	293.206	285	175.575	35	150	285	386	829	0.725863	0.001534
Transmission	310	0.074	0	0.263	0	0	0	0	1	2.815645	5.927857
Fuel_Type	310	0	0	0	0	0	0	0	0	nan	nan
C_City (kWh/100 km)	310	20.202	19	4.131	13.7	16.9	19	23	32.9	0.788482	-0.377271
C_Hwy (kWh/100 km)	310	21.938	21.4	3.408	15.7	19.7	21.4	23.2	35	0.930243	0.644395
C_Comb (kWh/100 km)	310	20.989	20.1	3.665	14.8	18.5	20.1	22.675	32.4	0.849166	-0.131908
C_City (Le/100 km)	310	2.271	2.1	0.463	1.6	1.9	2.1	2.6	3.7	0.802863	-0.344097
C_Hwy (Le/100 km)	310	2.462	2.4	0.38	1.8	2.2	2.4	2.6	3.9	0.928048	0.672779
C_Comb (Le/100 km)	310	2.356	2.25	0.41	1.7	2.1	2.25	2.575	3.6	0.856367	-0.121098
Range_(km)	310	374.681	385.5	149.384	92	300.75	385.5	482.5	837	0.082257	0.421646
CO2 Emissions_(g/km)	310	0	0	0	0	0	0	0	0	nan	nan
CO2_Rating	276	10	10	0	10	10	10	10	10	nan	nan
Smog_Rating	249	10	10	0	10	10	10	10	10	nan	nan
Recharge_Time (h)	310	9.499	10	2.727	3	8	10	12	15	-0.627315	0.059410

Şekil 6. Korelasyon matrisi

4. Sonuç

Yapılan analizler, elektrikli araçların yakıt tüketiminin şarj işlemleri, menzil ve entegre tüketim parametreleri ile yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Şarj süresi ve doluluk oranları ile araç menzili arasındaki ilişki, EMS uygulamalarının etkinliği açısından temel bir rol oynamaktadır. Korelasyon matrisi analizi, bu parametreler arasındaki güçlü ve zayıf ilişkileri belirleyerek, enerji verimliliğini artırmaya yönelik stratejik çıkarımların yapılmasına zemin hazırlamaktadır. Çalışmanın sonuçları, elektrikli araç performansının optimize edilmesi ve yakıt tüketiminin minimize edilmesi için ileri çalışmaların temelini oluşturmakta, EMS stratejilerinin geliştirilmesinde yol gösterici niteliktedir. Gelecekte, daha geniş veri setlerinin entegrasyonu ve ek metodolojik yaklaşımların uygulanmasıyla, EMS uygulamalarının daha da etkin hale getirilmesi hedeflenmelidir.

Kaynaklar

- [1] G. Hwang, S. Shin, S. Lee, and M. Kim, “Optimal Energy Distribution of Multi-Energy Sources in Fuel-Cell Electric Bus Using Long Short-Term Memory,” *International Journal of Automotive Technology*, vol. 24, no. 5, pp. 1359–1367, Oct. 2023, doi: 10.1007/S12239-023-01110-X/METRICS.
- [2] H. Xu, A. Zhang, Q. Wang, Y. Hu, F. Fang, and L. Cheng, “Quantum Reinforcement Learning for real-time optimization in Electric Vehicle charging systems,” *Appl Energy*, vol. 383, p. 125279, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.APENERGY.2025.125279.
- [3] J. Gerbaux, G. Desaulniers, and Q. Cappart, “A machine-learning-based column generation heuristic for electric bus scheduling,” *Comput Oper Res*, vol. 173, p. 106848, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.COR.2024.106848.
- [4] S. H. Mansour, S. M. Azzam, H. M. Hasanien, M. Tostado-Véliz, A. Alkuhayli, and F. Jurado, “Deep reinforcement learning-based plug-in electric vehicle charging/discharging scheduling in a home energy management system,” *Energy*, vol. 316, p. 134420, Feb. 2025, doi: 10.1016/J.ENERGY.2025.134420.
- [5] H. C. Kang, “Experiment on Extinguishing Thermal Runaway in a Scaled-Down Model of an Electric Vehicle Battery,” *International Journal of Automotive Technology*, vol. 25, no. 5, pp. 989–998, Oct. 2024, doi: 10.1007/S12239-024-00065-Z/FIGURES/10.
- [6] E. Yaghoubi, E. Yaghoubi, A. Khamees, D. Razmi, and T. Lu, “A systematic review and meta-analysis of machine learning, deep learning, and ensemble learning approaches in predicting EV charging behavior,” *Eng Appl Artif Intell*, vol. 135, p. 108789, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.ENGAPPAI.2024.108789.
- [7] T. Mazhar *et al.*, “Electric Vehicle Charging System in the Smart Grid Using Different Machine Learning Methods,” *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 2603*, vol. 15, no. 3, p. 2603, Feb. 2023, doi: 10.3390/SU15032603.
- [8] I. Ullah, K. Liu, T. Yamamoto, M. Zahid, and A. Jamal, “Prediction of electric vehicle charging duration time using ensemble machine learning algorithm and Shapley additive explanations,” *Int J Energy Res*, vol. 46, no. 11, pp. 15211–15230, Sep. 2022, doi: 10.1002/ER.8219.
- [9] V. S. Naresh, G. V. N. S. R. Ratnakara Rao, and D. V. N. Prabhakar, “Predictive machine learning in optimizing the performance of electric vehicle batteries: Techniques, challenges,

and solutions,” *Wiley Interdiscip Rev Data Min Knowl Discov*, vol. 14, no. 5, p. e1539, Sep. 2024, doi: 10.1002/WIDM.1539.

- [10] K. Das, R. Kumar, and A. Krishna, “Analyzing electric vehicle battery health performance using supervised machine learning,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, p. 113967, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.RSER.2023.113967.
- [11] Y. Zhang, T. Wik, J. Bergström, and C. Zou, “Machine learning-based lifelong estimation of lithium plating potential: A path to health-aware fastest battery charging,” *Energy Storage Mater*, vol. 74, p. 103877, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.ENSMS.2024.103877.
- [12] Z. Fu, L. Zhu, F. Tao, P. Si, and L. Sun, “Optimization based energy management strategy for fuel cell/battery/ultracapacitor hybrid vehicle considering fuel economy and fuel cell lifespan,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 15, pp. 8875–8886, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2020.01.017.

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YAKIT TÜKETİMİ ANALİZİ: SEGMENTLER, KULLANIM SENARYOLARI VE ENERJİ VERİMLİLİĞİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Feyyaz Alpsalaz¹, Emrah Aslan², Yıldırım Özupak³,

¹Bozok University, Akdağmadeni Vocational School, Electrical Department, Yozgat, Türkiye

²Mardin Artuklu University, Computer Engineering Department, Mardin, Türkiye

³Dicle University, Silvan Vocational School, Electrical Department, Diyarbakır, Türkiye

Email: feyyaz.alpsalaz@bozok.edu.tr, emrahaslan@artuklu.edu.tr,
yildirim.ozupak@dicle.edu.tr

Özet

Bu çalışma, elektrikli araçların yakıt tüketimi verilerinin kapsamlı analizini gerçekleştirmiştir. Analiz kapsamında, farklı kullanım senaryoları, araç segmentlerine göre değişen tüketim değerleri, zaman içinde gözlemlenen trendler ve kullanılan ölçüm metodolojilerinin etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Çalışmada, çeşitli istatistikî yöntemler ve zaman serisi analiz teknikleri kullanılarak, farklı araç tipleri ve işletim koşulları altında kaydedilen veriler sistematik bir şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, elektrikli araçların yakıt tüketiminde belirgin varyasyonlar olduğunu ve bu varyasyonların araç segmentleri ile kullanım senaryolarına göre farklılık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, ölçüm metodolojilerindeki farklılıkların sonuçlar üzerindeki etkisi de analiz edilerek, enerji yönetim stratejilerinin optimize edilmesi için değerli veriler sunulmuştur. Bu çalışma, enerji verimliliğinin artırılması, batarya ömrünün uzatılması ve sürdürülebilir ulaşım hedeflerine ulaşılması adına önemli stratejik çıkarımlar sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar, mevcut EMS uygulamalarının geliştirilmesi ve gelecekteki enerji verimliliği odaklı politikaların oluşturulması için temel referans noktaları sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Batarya, Elektrikli Araç, Tüketim, Analiz.

Analysis of Fuel Consumption in Electric Vehicles: A Study on Segments, Usage Scenarios, and Energy Efficiency

Abstract

This study provides a comprehensive analysis of fuel consumption data for electric vehicles. The analysis encompasses various usage scenarios, consumption values varying by vehicle segments, trends observed over time, and the impacts of applied measurement methodologies, all of which have been examined in detail. Employing a range of statistical methods and time series analysis techniques, the study systematically evaluates data recorded under different vehicle types and operating conditions. The findings reveal significant variations in the fuel consumption of electric vehicles, with these variations differing across vehicle segments and usage scenarios. Furthermore, the influence of differences in measurement methodologies on the results has been analyzed, providing valuable insights for optimizing energy management strategies. This study offers critical strategic implications for enhancing energy efficiency, extending battery life, and achieving sustainable transportation goals. The results serve as foundational reference points for improving existing Energy Management System (EMS) applications and shaping future energy-efficiency-focused policies.

Keywords

Battery, Electric Vehicle, Consumption, Analysis

1. Giriş

Elektrikli araçlar (EV'ler), çevresel sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda karbon salınımını azaltmak ve fosil yakıt bağımlılığını en aza indirmek amacıyla küresel ölçekte hızla yaygınlaşmaktadır. Artan elektrikli araç kullanımı, enerji tüketimi yönetimi, batarya performansının optimizasyonu ve şarj altyapısının etkinliği gibi çeşitli teknik ve operasyonel zorlukları da beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda, bataryaların ömrünü uzatmak, şarj süresini en aza indirmek ve enerji kullanımını optimize etmek için geliştirilen enerji yönetim stratejileri (EMS), elektrikli araç ekosisteminin sürdürülebilirliği açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, EMS'nin etkinliğini artırmak amacıyla farklı makine öğrenmesi ve regresyon algoritmaları kullanılarak kapsamlı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Logistic Regression, K-Nearest Neighbors (KNN) ve Decision Tree gibi yaygın olarak kullanılan algoritmalar, elektrikli araçların enerji tüketimi tahmini ve yönetim süreçlerinde uygulanmıştır. Ayrıca, bu algoritmaların doğruluk, işlem süresi ve genelleme kabiliyeti açısından karşılaştırmalı bir değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı, farklı regresyon modellerinin performanslarını analiz ederek en uygun EMS yaklaşımını belirlemek ve böylece şarj sürelerini optimize ederken batarya ömrünü maksimize eden bir sistem geliştirmektir. Literatürde EMS üzerine yapılan çalışmaların büyük bir kısmı, sınırlı veri kümeleri veya tek bir model çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma ise geniş bir veri seti üzerinde çeşitli algoritmaların performanslarını karşılaştırarak, farklı yöntemlerin avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, elektrikli araçların enerji yönetim sistemlerinin daha verimli hale getirilmesine katkı sağlayarak, batarya yönetimi ve şarj süreleri konusunda gelecekte yapılacak optimizasyon çalışmalarına önemli bir yol gösterici olacaktır.

2. Literatür Taraması

Elektrikli araç teknolojilerinin hızla yaygınlaşması, batarya sağlığı, performans ve ömür tahminlerinde yenilikçi yöntemlere duyulan ihtiyacı artırmıştır [1]. Batarya verimliliği ve güvenilirliği hem çevresel hem de ekonomik açıdan kritik öneme sahip olup [2], doğru ve zamanında tahmin yapılabilmesi için gelişmiş makine öğrenmesi tekniklerine başvurulmaktadır [3]. Literatürde, çeşitli regresyon modelleri kullanılarak yapılan çalışmalar, batarya durumunun izlenmesi ve performans tahminlerinde önemli başarılar elde etmiştir [4]. Ancak mevcut yaklaşımlar genellikle tek veya sınırlı sayıda modelin kullanıldığı çalışmalara odaklanmaktadır [5]. Yaghoubi ve ark. çalışmasında, EV şarj tahmini için ML ve DL teknikleri, geniş literatür taraması ve metodolojik sınıflandırma ile incelenmiş; ensemble öğrenme, diğer yöntemlere göre belirgin derecede üstün performans göstermiştir [6]. Mazhar ve ark., akıllı şehirlerde elektrikli araç (EV) şarj yönetimi için makine öğrenimi (ML) tabanlı bir sistem önermişlerdir. Çalışmada, geleneksel şarj, hızlı şarj ve araçtan şebekeye (V2G) teknolojileri ele alınmıştır. LSTM, DNN, KNN, RF, SVM ve DT gibi ML yöntemleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, LSTM'nin yük eğrisini optimize ederek tepe gerilimini, güç kayıplarını ve maliyetleri düşürdüğünü göstermiştir [7]. Ullah ve ark., elektrikli araç şarj sürelerini tahmin etmek için XGBoost, random forest gibi dört EML algoritması kullandı. Japonya'dan 500 EV'nin 2 yıllık verisiyle normal ve hızlı şarj modları analiz edildi. XGBoost en başarılı model oldu. SHAP ile sonuçlar yorumlandı [8]. Naresh ve ark., elektrikli araç bataryalarının performansını optimize etmek için ML tekniklerini inceledi. SoC, SoH, SoF, RUL gibi faktörler ele alınarak veri toplama ve hazırlama yöntemleri önerildi. Gerçek zamanlı izleme ve enerji kullanımında ML modellerinin etkisi vurgulandı [9]. Das ve ark., lityum-iyon bataryaların sağlık durumu tahmini için KNN, SVR, DT ve RF algoritmalarını karşılaştırmıştır. Sandia veri setiyle doğrulanan çalışmada, KNN ve DT en yüksek doğruluğu sağlamıştır. Çalışma, yenilikçi batarya izleme

sistemlerinin geliştirilmesi için veri paylaşımını vurgulamaktadır [10]. Zhang ve ark., lityum-iyon bataryalarda hızlı şarj ve uzun ömür hedeflerini birleştiren bir yöntem önermiştir. Bu yöntem, plaka potansiyelinin gerçek zamanlı kontrolünü içerir. Çalışma, şarj hızını %30 artırırken batarya ömrünü iki katına çıkarabilmiştir. Önerilen makine öğrenimi modeli, 3.37 mV hata oranıyla yüksek doğruluk sağlamıştır [11].

3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, batarya performansı ve ömür tahmini için farklı makine öğrenmesi tabanlı regresyon modelleri kullanılmış ve kapsamlı bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Logistic Regression, K-Nearest Neighbors ve Decision Tree doğrudan ölçülebilir parametrelerini içermekte ve bu parametrelerden hareketle model eğitimi yapılmıştır. Modelleme süreci, veri ön işleme, özellik seçimi, model eğitimi ve değerlendirme aşamalarını kapsamaktadır. Her bir algoritmanın performansı, doğruluk, hata metrikleri ve hesaplama maliyeti açısından değerlendirilmiş; sonuçlar karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

3.1. Batarya

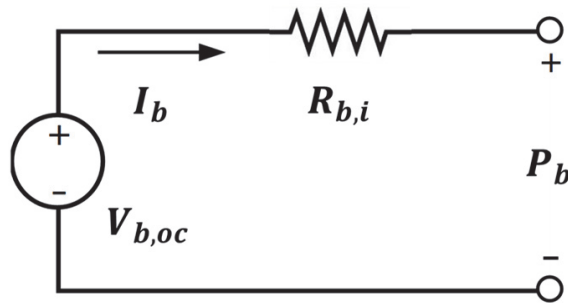
Gerekli gücün son derece düşük olduğu durumlarda, BOP (yardımcı güç ünitesi) gücü, yakıt hücresi yığını gücünden daha fazla olabilir; bu nedenle yakıt hücresi sistemi kullanılamaz. Bir batarya kullanılarak, düşük güç talepli senaryolarda ortaya çıkan sorunlar çözülebilir. Ayrıca batarya, yakıt hücresi sistemi tarafından üretilen fazla enerjiyi ve rejeneratif (geri kazanımlı) frenleme enerjisini depolayabilir. Bu çalışmada, yüksek güç yoğunluklu bir lityum-iyon batarya kullanılmıştır. Batarya tasarımı, Şarj Durumu (SoC) tabanlı açık devre voltajı (OCV) verileri ve iç direnç göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Eşdeğer devre modeli ve batarya karakteristikleri Şekil 6'da gösterilmiş olup, batarya durumunu hesaplamak için Denklemler (1) ~ (4) kullanılmıştır [12].

$$V_{b,oc} = V_b - I_b R_{b,i} \quad (1)$$

$$P_b = V_{b,oc} I_b - R_{b,i} I_b^2 \quad (2)$$

$$I_b = \frac{V_{b,oc} - \sqrt{V_{b,oc}^2 - 4P_b R_{b,i}}}{2R_{b,i}} \quad (3)$$

$$SoC_b = SoC_{b,init} - \frac{\int I_b}{3600 \times C_b} \quad (4)$$

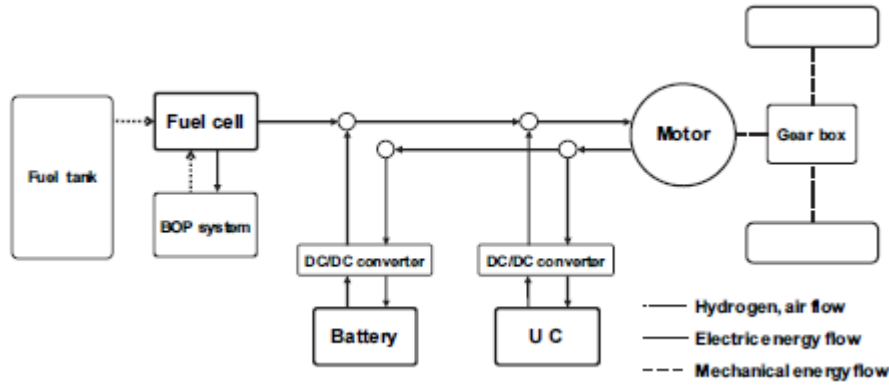


Şekil 1. Eşdeğer batarya devresi

$V_{b,oc}$, V_b , I_b , $R_{b,i}$, P_b , SoC_b , C_b sırasıyla, pilin açık devre gerilimini (OCV), pilin terminal gerilimini, pilin akımını, pilin iç direncini, pilin gücünü, pilin başlangıç SoC'ini (Durum-of-Şarj) ve pilin nominal kapasitesini temsil eder.

3.2 Enerji Yönetim Stratejisi (EMS)

Enerji Yönetim Stratejisi (EMS), elektrikli araçlar ve diğer enerji sistemlerinde, enerji kaynaklarının verimli, dengeli ve sürdürülebilir kullanımını sağlamak amacıyla geliştirilmiş kapsamlı bir yaklaşımdır. EMS, batarya şarj-deşarj süreçlerinin, enerji tüketiminin ve dağıtımının optimize edilmesinde kritik rol oynar. Bu çalışmada, EMS kapsamında batarya performansı, şarj durumu ve enerji tüketimi gibi parametrelerin tahmininde kullanılacak on farklı regresyon modelinin karşılaştırmalı analizi yapılacaktır. Amaç, her modelin tahmin doğruluğu ve hesaplama verimliliğini değerlendirerek, EMS uygulamalarında en uygun stratejinin belirlenmesine katkıda bulunmaktır.



Şekil 2. Genel güç aktarma yapısı

3.3 Veriseti

Bu veri seti, elektrikli araç şarj olaylarına ilişkin detaylı ve çok boyutlu analizlere imkan tanıyan 1320 örneklem ve 20 değişkenden oluşan kapsamlı bir veri topluluğu sunmaktadır. Veri setinde yer alan temel parametreler arasında, her kullanıcı için benzersiz olarak tanımlanan “User ID”, araç modelini belirten “Vehicle Model” ve aracın toplam batarya kapasitesini (kWh cinsinden) ifade eden “Battery Capacity (kWh)” yer almaktadır. Bu temel bilgilerin yanı sıra, şarj işleminin gerçekleştiği istasyonla ilgili “Charging Station ID” ve coğrafi konumu belirten “Charging Station Location” değişkenleri, şarj işlemlerinin mekansal dağılımının incelenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, şarj başlangıç ve bitiş zamanlarını gösteren “Charging Start Time” ve “Charging End Time” sütunları, işlem süresinin ve enerji tüketim dinamiklerinin analizinde kritik rol oynamaktadır. “Energy Consumed (kWh)”, “Charging Duration (hours)” ve “Charging Rate (kW)” gibi değişkenler, şarj seansları sırasında tüketilen enerji miktarı, geçen süre ve ortalama güç dağıtımını ortaya koyarken; “Charging Cost (USD)” değişkeni, ekonomik maliyetin değerlendirilmesine imkan vermektedir. Veri setinde yer alan “Time of Day” ve “Day of Week” gibi zaman odaklı bilgiler; “State of Charge (Start %)” ve “State of Charge (End %)” gibi batarya durum göstergeleri; ayrıca “Distance Driven (since last charge) (km)”, “Temperature (°C)”, “Vehicle Age (years)”, “Charger Type” ve “User Type” gibi ilave

değişkenler, şarj davranışları, çevresel etkenler ve kullanıcı profilleri arasındaki ilişkilerin kapsamlı analizini mümkün kılmaktadır.

3.4 Logistic Regression

Logistic Regression, sınıflandırma problemlerinde kullanılan istatistiksel bir modeldir. Girdi değişkenleri ile hedef değişken arasında doğrusal bir ilişki kurarak, logit fonksiyonu ile olasılık tahmini yapar. Basit ve yorumlanabilir yapısı sayesinde büyük veri setlerinde verimli çalışır. Ancak, doğrusal olmayan ilişkileri iyi yakalayamaz ve çok boyutlu veri setlerinde performansı düşebilir. Aşırı öğrenme riskini azaltmak için düzenleme teknikleriyle desteklenebilir.

3.5 K-Nearest Neighbors

K-Nearest Neighbors (KNN), parametrik olmayan, örnek tabanlı bir öğrenme algoritmasıdır. Yeni bir veri noktası, belirlenen k en yakın komşusunun çoğunluk sınıfına veya ortalama değerine göre sınıflandırılır. Düşük hesaplama gereksinimiyle küçük veri setlerinde iyi çalışırken, büyük veri setlerinde bellek kullanımı ve hesaplama maliyeti yükselebilir. Doğru k değeri seçimi model performansını önemli ölçüde etkiler. Gürültülü verilere karşı hassas olduğu için ön işleme gerektirebilir.

3.6 Decision Tree

Decision Tree, veri setini hiyerarşik olarak bölerek karar kuralları oluşturan açıklanabilir bir modeldir. Her düğümde en iyi bölünmeyi belirleyerek veriyi iteratif şekilde ayırır. Küçük veri setlerinde yüksek doğruluk sağlarken, büyük veri setlerinde aşırı öğrenmeye yatkın olabilir. Ağaç derinliğinin optimize edilmesi ve budama teknikleri, modelin genelleme yeteneğini artırabilir. Kategorik ve sayısal verilerle çalışabilmesi, esnekliğini artıran önemli bir avantajdır.

4. Araştırma Bulguları

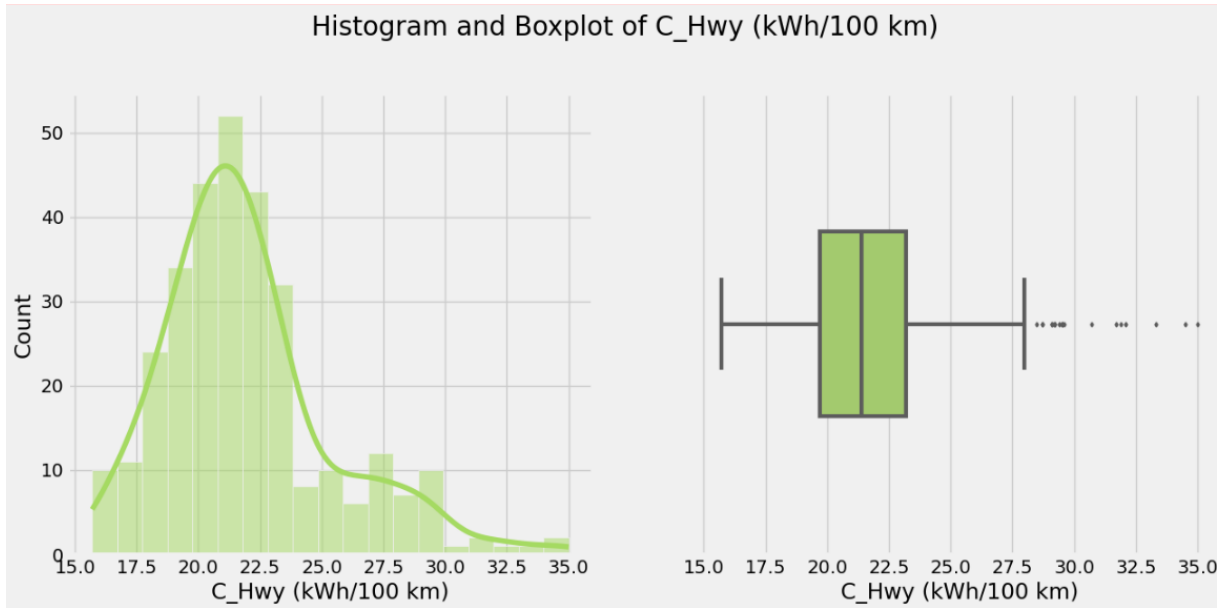
Bu sonuçlar, farklı regresyon modellerinin performansını karşılaştırarak en uygun enerji yönetim stratejisini belirlemeyi amaçlamaktadır. Logistic Regression, KNN ve Decision Tree gibi yöntemler enerji tüketimi tahmini için test edilmiş ve doğruluk, hata metriği ile analiz edilmiştir. Sonuçlar, belirli algoritmaların veri setine göre daha iyi genelleştirme yapabildiğini ve EMS optimizasyonu için uygun yaklaşımlar sunduğunu göstermektedir. Bu bulgular, elektrikli araçlarda enerji yönetimini geliştirmek için rehber niteliğindedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar görsel olarak sunulmuştur. Şekil 3-Şekil 6 elde edilen sonuçları ifade etmektedir.

Şekil 3, elektrikli araçların farklı işletim koşullarında gözlemlenen yakıt tüketimi dağılımını ortaya koymaktadır. Grafik, çeşitli araç modelleri ve kullanım senaryoları altında kaydedilen tüketim değerlerini detaylı biçimde göstermektedir. Ölçülen veriler arasında, sürüş mesafesi, trafik yoğunluğu ve çevresel etmenlerin etkisi dikkat çekici olup, tüketim değerlerindeki değişkenliği boyutlarını net olarak ortaya koymaktadır.

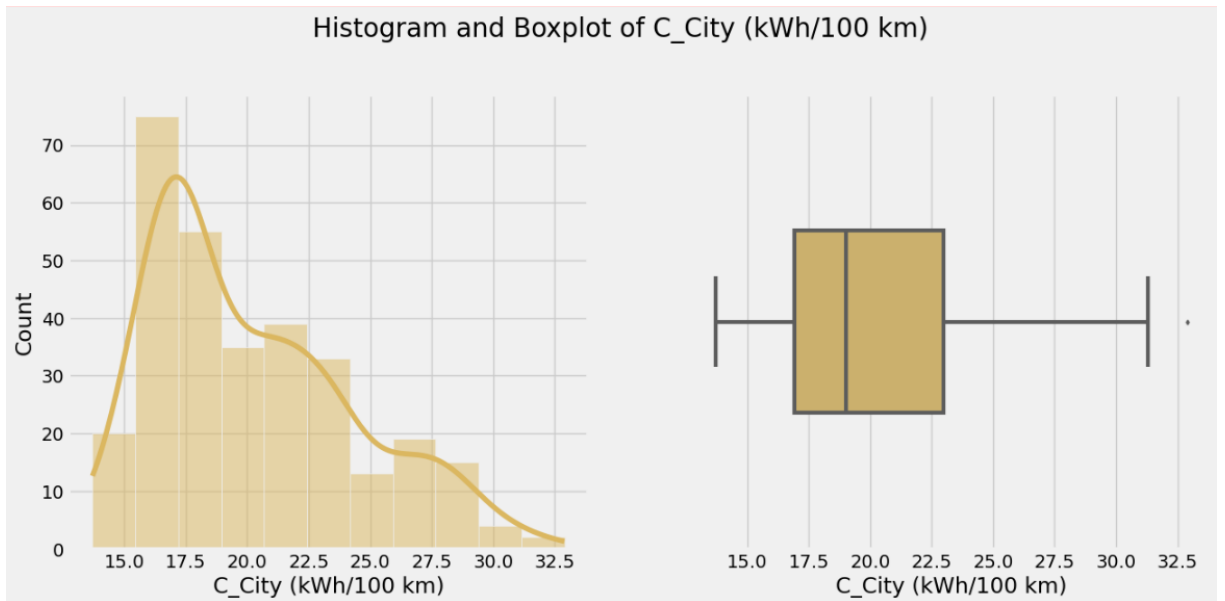
Şekil 4, araç segmentlerine göre ortalama yakıt tüketim değerlerini karşılaştırmalı olarak sunmaktadır. Farklı araç gruplarının tüketim ortalamaları, hata çubukları ile desteklenerek istatistiki anlamlılık vurgulanmıştır. Grafik, segment bazlı tüketim farklılıklarını ortaya koyarak, araç tipleri ve kullanım senaryoları arasındaki belirgin farklılıkları özetlemektedir.

Şekil 5, belirli zaman dilimleri içerisinde elektrikli araçlarda gözlemlenen yakıt tüketim trendlerini detaylandırmaktadır. Mevsimsel değişiklikler, trafik yoğunluğu ve çevresel

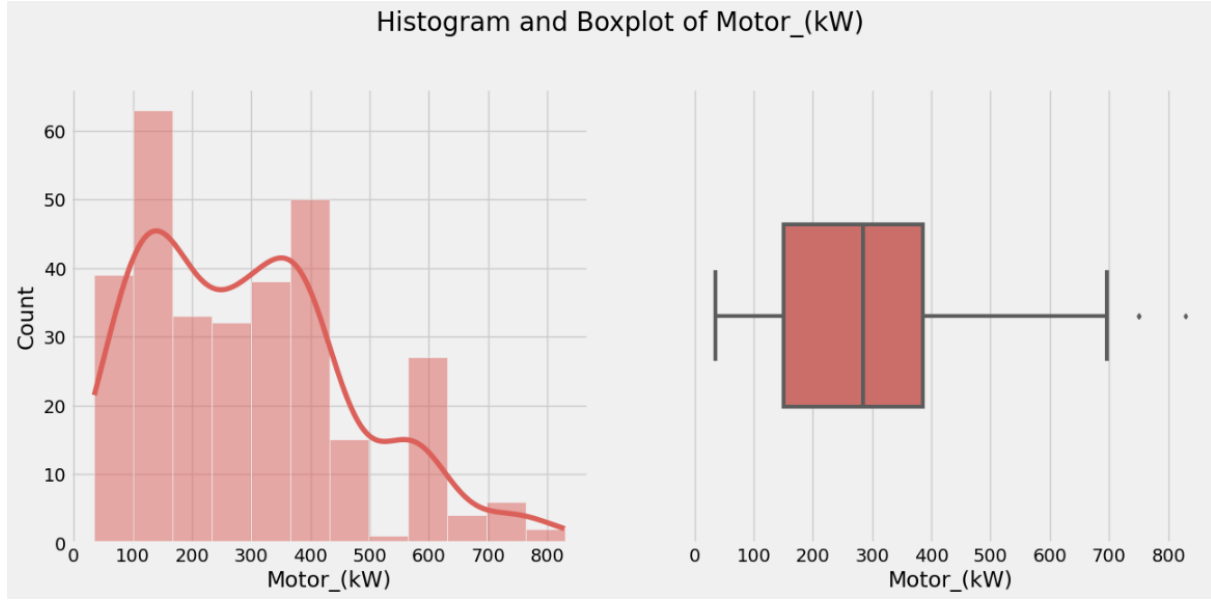
faktörlerin tüketim üzerindeki etkileri zaman serisi analiziyle ortaya konulmuştur. Grafikte, tüketim verilerindeki dalgalanmalar ve genel eğilimler vurgulanmakta, böylece gelecekteki tüketim öngörülerini için temel oluşturacak bilgiler sunulmaktadır.



Şekil 3. Uzun yol yakıt tüketimi dağılımı



Şekil 4. Şehir içi yakıt tüketimi dağılımı



Şekil 5. Zaman içinde yakıt tüketim dağılımları

Şekil 6, elektrikli araçların yakıt tüketimi ile ilgili farklı ölçüm yöntemlerinin sonuçlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Ölçüm metodolojilerinin getirdiği farklılıklar ve elde edilen verilerin tutarlılığı, grafik aracılığıyla detaylandırılmıştır. Karşılaştırmalı analiz, ölçüm yöntemlerinin güvenilirliğini değerlendirmeye olanak tanımakta ve yakıt tüketimi verilerinin doğruluğunu artırmaya yönelik metodolojik önerilere ışık tutmaktadır.

	count	mean	median	std	min	25%	50%	75%	max	skewness	kurtosis
Model_Year	310	2019.206	2020	2.655	2012	2017	2020	2022	2022	-0.589622	-0.862082
Motor_(kW)	310	293.206	285	175.575	35	150	285	386	829	0.725863	0.001534
C_City (kWh/100 km)	310	20.202	19	4.131	13.7	16.9	19	23	32.9	0.788482	-0.377271
C_Hwy (kWh/100 km)	310	21.938	21.4	3.408	15.7	19.7	21.4	23.2	35	0.930243	0.644395
C_Comb (kWh/100 km)	310	20.989	20.1	3.665	14.8	18.5	20.1	22.675	32.4	0.849166	-0.131908
C_City (Le/100 km)	310	2.271	2.1	0.463	1.6	1.9	2.1	2.6	3.7	0.802863	-0.344097
C_Hwy (Le/100 km)	310	2.462	2.4	0.38	1.8	2.2	2.4	2.6	3.9	0.928048	0.672779
C_Comb (Le/100 km)	310	2.356	2.25	0.41	1.7	2.1	2.25	2.575	3.6	0.856367	-0.121098
Range_(km)	310	374.681	385.5	149.384	92	300.75	385.5	482.5	837	0.082257	0.421646
CO2 Emissions_(g/km)	310	0	0	0	0	0	0	0	0	nan	nan
CO2_Rating	276	10	10	0	10	10	10	10	10	nan	nan
Smog_Rating	249	10	10	0	10	10	10	10	10	nan	nan
Recharge_Time (h)	310	9.499	10	2.727	3	8	10	12	15	-0.627315	0.059410

Şekil 6. Farklı Ölçüm Yöntemleri Arası Karşılaştırma

5. Sonuç

Yapılan analizler, elektrikli araçların yakıt tüketiminin araç segmentleri, kullanım koşulları ve çevresel faktörlere bağlı olarak belirgin farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle, farklı araç tipleri ve teknik özelliklerin yanı sıra, sürüş koşulları, trafik yoğunluğu ve mevsimsel değişikliklerin tüketim değerlerine etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, mevcut enerji yönetim stratejilerinin (EMS) optimize edilmesi ve yakıt tüketiminin minimize edilmesi için kritik veriler sunmaktadır. Bu bulgular, elektrikli araç performansının artırılması, enerji verimliliğinin iyileştirilmesi ve sürdürülebilir ulaşım politikalarının geliştirilmesi adına yol gösterici niteliktedir. Ayrıca, çalışmada kullanılan istatistiki yöntemler ve zaman serisi analizleri, farklı etmenlerin yakıt tüketimi üzerindeki etkilerini sistematik olarak ortaya koymuş ve EMS stratejilerinin geliştirilmesine yönelik somut öneriler sunmuştur. Gelecekte, daha geniş veri setlerinin entegrasyonu ve farklı metodolojik yaklaşımların uygulanmasıyla, EMS uygulamalarının daha etkin hale getirilmesi, enerji tüketimindeki varyasyonların daha iyi anlaşılması ve elektrikli araç performansının optimize edilmesi beklenmektedir.

Kaynaklar

- [1] G. Hwang, S. Shin, S. Lee, and M. Kim, “Optimal Energy Distribution of Multi-Energy Sources in Fuel-Cell Electric Bus Using Long Short-Term Memory,” *International Journal of Automotive Technology*, vol. 24, no. 5, pp. 1359–1367, Oct. 2023, doi: 10.1007/S12239-023-0110-X/METRICS.
- [2] H. Xu, A. Zhang, Q. Wang, Y. Hu, F. Fang, and L. Cheng, “Quantum Reinforcement Learning for real-time optimization in Electric Vehicle charging systems,” *Appl Energy*, vol. 383, p. 125279, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.APENERGY.2025.125279.
- [3] J. Gerbaux, G. Desaulniers, and Q. Cappart, “A machine-learning-based column generation heuristic for electric bus scheduling,” *Comput Oper Res*, vol. 173, p. 106848, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.COR.2024.106848.
- [4] S. H. Mansour, S. M. Azzam, H. M. Hasanien, M. Tostado-Véliz, A. Alkuhayli, and F. Jurado, “Deep reinforcement learning-based plug-in electric vehicle charging/discharging scheduling in a home energy management system,” *Energy*, vol. 316, p. 134420, Feb. 2025, doi: 10.1016/J.ENERGY.2025.134420.
- [5] H. C. Kang, “Experiment on Extinguishing Thermal Runaway in a Scaled-Down Model of an Electric Vehicle Battery,” *International Journal of Automotive Technology*, vol. 25, no. 5, pp. 989–998, Oct. 2024, doi: 10.1007/S12239-024-00065-Z/FIGURES/10.
- [6] E. Yaghoubi, E. Yaghoubi, A. Khamees, D. Razmi, and T. Lu, “A systematic review and meta-analysis of machine learning, deep learning, and ensemble learning approaches in predicting EV charging behavior,” *Eng Appl Artif Intell*, vol. 135, p. 108789, Sep. 2024, doi: 10.1016/J.ENGAPPAI.2024.108789.
- [7] T. Mazhar *et al.*, “Electric Vehicle Charging System in the Smart Grid Using Different Machine Learning Methods,” *Sustainability 2023, Vol. 15, Page 2603*, vol. 15, no. 3, p. 2603, Feb. 2023, doi: 10.3390/SU15032603.
- [8] I. Ullah, K. Liu, T. Yamamoto, M. Zahid, and A. Jamal, “Prediction of electric vehicle charging duration time using ensemble machine learning algorithm and Shapley additive explanations,” *Int J Energy Res*, vol. 46, no. 11, pp. 15211–15230, Sep. 2022, doi: 10.1002/ER.8219.

- [9] V. S. Naresh, G. V. N. S. R. Ratnakara Rao, and D. V. N. Prabhakar, “Predictive machine learning in optimizing the performance of electric vehicle batteries: Techniques, challenges, and solutions,” *Wiley Interdiscip Rev Data Min Knowl Discov*, vol. 14, no. 5, p. e1539, Sep. 2024, doi: 10.1002/WIDM.1539.
- [10] K. Das, R. Kumar, and A. Krishna, “Analyzing electric vehicle battery health performance using supervised machine learning,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 189, p. 113967, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.RSER.2023.113967.
- [11] Y. Zhang, T. Wik, J. Bergström, and C. Zou, “Machine learning-based lifelong estimation of lithium plating potential: A path to health-aware fastest battery charging,” *Energy Storage Mater*, vol. 74, p. 103877, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.ENSMS.2024.103877.
- [12] Z. Fu, L. Zhu, F. Tao, P. Si, and L. Sun, “Optimization based energy management strategy for fuel cell/battery/ultracapacitor hybrid vehicle considering fuel economy and fuel cell lifespan,” *Int J Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 15, pp. 8875–8886, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.IJHYDENE.2020.01.017.

ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA YANGIN RİSKLERİ VE TÜRKİYE DEĞERLENDİRMESİ

İpek CAN

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

502310024@ogr.uludag.edu.tr

ORCID: 0009-0002-6260-1250

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

mkilic@uludag.edu.tr

ORCID: 0000-0003-2113-4510

ÖZET

Günümüzde küresel ısınmanın hızlanması ve fosil yakıtların kullanımının artmasıyla petrol rezervlerinin azalması gelişmiş ülkeleri, elektrikli araç kullanımına yöneltmektedir. İçten yanmalı araçlara göre elektrikli araç yangınları daha az görülmekle beraber daha fazla risk barındırmaktadır. Elektrikli araçlarda yaygın olarak Lityum iyon bataryalar kullanılmaktadır. Bu bataryalar yüksek çevrim oranları yanında yüksek enerji yoğunluğu sunmakta ve düşük şarj süresi gibi çeşitli özellikleri sayesinde elektrikli araçlarda tercih edilmektedirler. Ancak, bu teknolojinin yaygınlaşmasıyla birlikte güvenlik sorunlarında da artış gözlenmektedir. Elektrikli araç yangınları uygun şekilde müdahale edilmediği ve güvenlik önlemlerinin alınmadığı durumlarda can ve mal güvenliği açısından oldukça tehlikeli hale gelebilme olasılığına sahiptir. Bu çalışmada, elektrikli araç yangınları kapsamlı olarak incelenmekte, yangın sebepleri, yangın süreci, riskler ve yangın güvenliği konularına değinilmektedir. Elektrikli araçların sürdürülebilir ve güvenli bir kullanımı için değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrikli araçlar; Lityum iyon batarya; Yangın; Risk

FIRE RISKS IN ELECTRIC VEHICLES AND TÜRKİYE EVALUATION

ABSTRACT

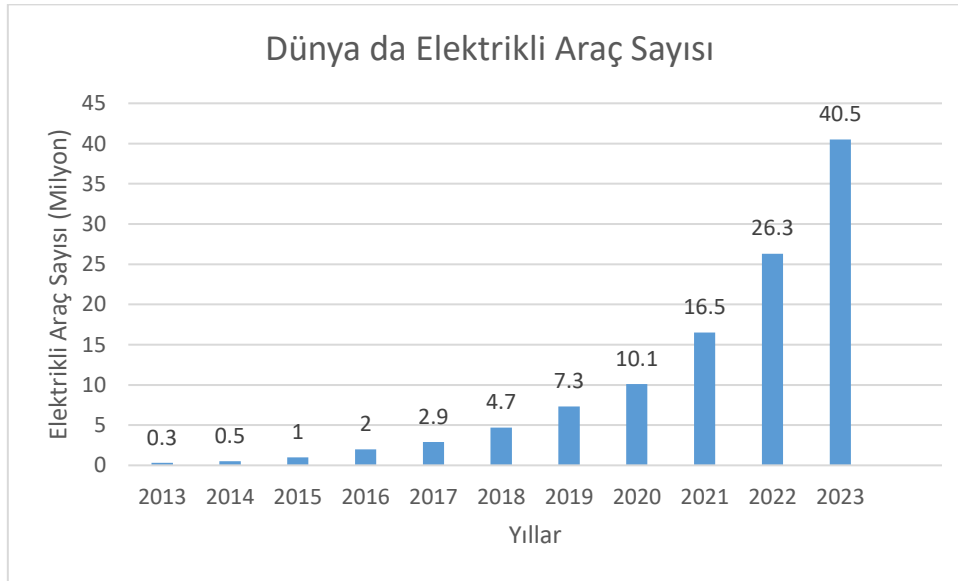
Today, the acceleration of global warming and the increasing use of fossil fuels, coupled with the depletion of oil reserves, are leading developed countries to use electric vehicles. Electric vehicle fires are less common than internal combustion vehicles, but they carry more risks. Lithium-ion batteries are widely used in electric vehicles. These batteries offer high energy density as well as high cycle rates, and are preferred in electric vehicles due to various features such as low charging time. However, with the spread of this technology, there is an increase in security problems. Electric vehicle fires can become quite dangerous in terms of life and property safety if they are not properly intervened and safety measures are not taken. In this

study, electric vehicle fires are examined comprehensively, and fire causes, fire process, risks and fire safety issues are addressed. Assessments have been made for the sustainable and safe use of electric vehicles.

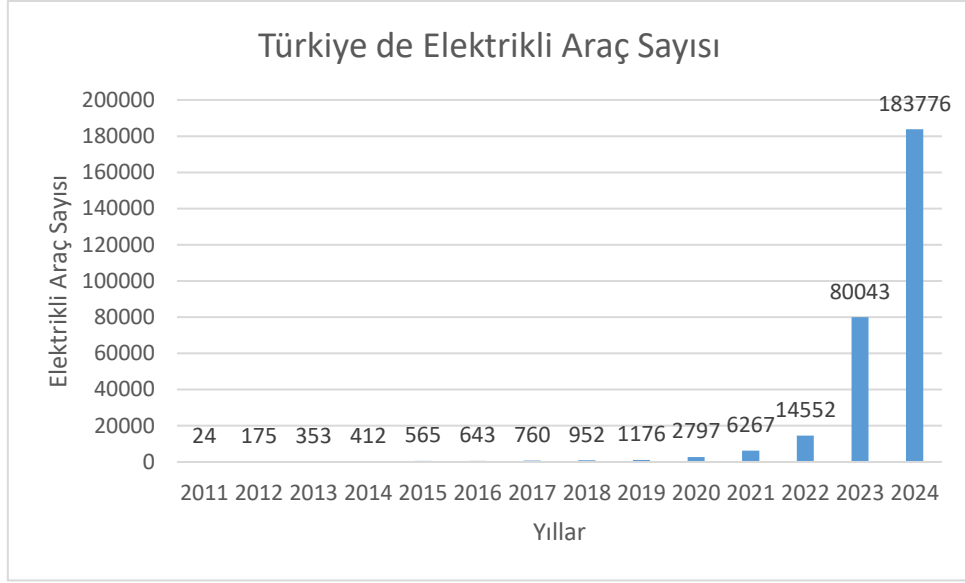
Key words: Electrical vehicles; Lithium-Ion battery; Fire; Risk

GİRİŞ

Fosil yakıtlar sınırlı enerji kaynaklarıdır ve günümüzde Dünya enerji krizi ile karşı karşıyadır. Yaklaşık iki yüz yıldır kullanımda olan fosil yakıtların oluşumu milyonlarca yılı bulabilmektedir. Fosil yakıtların kullanımı; küresel ısınmayı, hava kirliliğini ve asit yağmurlarını içeren pek çok çevre sorunlarının ana sebebidir. CO₂ emisyonunu azaltmak ve küresel ısınmayı önlemek için nükleer, hidrojen, rüzgar, güneş ve jeotermal enerji gibi birçok alternatif enerji kaynakları benimsenmektedir. Ayrıca, elektrikli araçlar ve hibrit elektrikli araçlar hızla geliştirilmekte ve benzinle çalışan araçların yerini alması beklenmektedir [1]. Dünya’da ve Türkiye özelinde üretilen elektrikli araç sayıları artmaktadır. Görsel 1a’da Dünya’da, Görsel 1b’de Türkiye’de üretilen elektrikli araç sayıları yıllara göre verilmektedir. Elektrikli araç sayısındaki beklenen gelişmeler Görsel 2a ve Görsel 2b’de Dünya ve Türkiye için verilmektedir. Buna göre Görsel 2a’da Dünya’da 2040 yılında üretilen araç sayısı yaklaşık 22,75 milyar olarak Görsel 2b’de Türkiye’de ise yaklaşık 87 milyon olarak beklenmektedir.

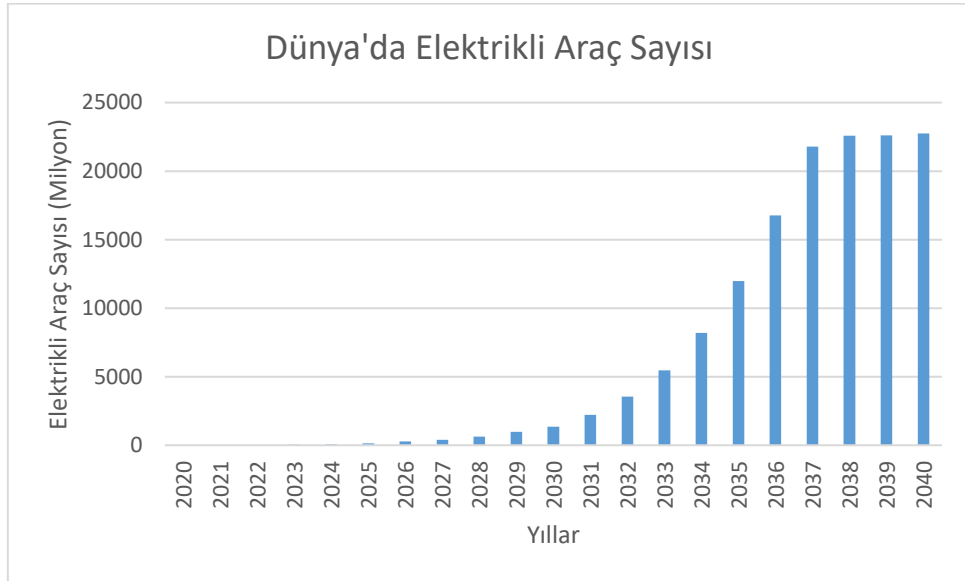


a)

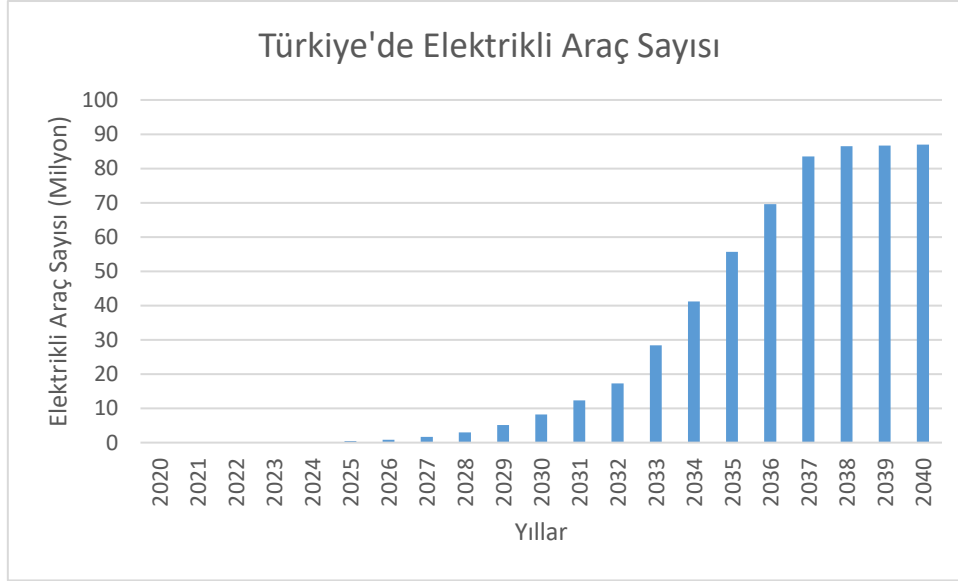


b)

Görsel 1. a) Dünya’da üretilen elektrikli araç miktarının yıllara göre değişimi b) Türkiye’de üretilen elektrikli araç miktarının yıllara göre değişimi.



a)



b)

Görsel 2. a) Dünya’da üretilmesi beklenen araç sayısı, b) Türkiye’de üretilmesi beklenen araç sayısı.

Son on yılda piller, süper kapasitörler ve yakıt hücreleri gibi çeşitli enerji depolama teknolojileri sektörleri dönüştürme ve enerji zorluklarını çözme potansiyeline sahip lider teknolojiler haline gelmiştir. Özellikle ticari lityum iyon bataryalar olmak üzere şarj edilebilir pil teknolojisinin evrimi önemli bir ilerlemeyi işaret etmektedir [2]. Lityum iyon bataryalar yüksek enerji ve güç yoğunlukları nedeniyle elektrikli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [3]. Yüksek enerji yoğunluğu, uzun çevrim ömrü, verimlilik ve rekabetçi maliyetleriyle bilinen bu bataryalar otomotiv, taşınabilir elektronik, şebeke depolama alanlarında ilerlemektedir [2].

Elektrikli araçlardaki termal kaçak kazaları endüstri gelişimini önemli ölçüde engellemiştir ve kamu güvenliği için riskler oluşturmaktadır. Termal kaçak olaylarının sık görülmesi esas olarak lityum iyon bataryaların pratikte aşırı şarj, aşırı ısınma ve çarpışmalar gibi kötüye kullanılmasıdır. Bu çalışma kapsamında elektrikli araç yangınlarının ortaya çıkmasında etkili olan batarya hasarları, devamında gelişen termal kaçak süreci, evden şarj esnasında, şarj istasyonlarında, kapalı otoparklarda meydana gelebilecek elektrikli araç yangın riskleri ve önlemler Türkiye özelinde değerlendirilmektedir.

1. Elektrikli Araçlar

Elektrikli araçlar, tahrik için bir veya birden fazla elektrik motoru kullanarak hareket eden, gücünü bataryadan veya yakıt hücresinden alan araçlar olarak tanımlanabilir [4].

1.1. Bataryalı Elektrikli Araçlar

Bataryalı elektrikli araçlar içten yanmalı motoru olmayan tamamen elektrikli araçlardır. Batarya enerjisi bittiğinde yeniden şarj edilmeleri gerekir [4]. Araç, enerji depolama hücresi için bir batarya, bir elektrik motoru ve bir kontrolör içerir [5].

1.2. Plug-in Hibrit Elektrikli Araçlar

Bu araçlarda hem elektrik motoru hem de içten yanmalı motor bulunur. Kısa mesafelerde bataryasından aldığı elektrikle çalışıp sonrasında içten yanmalı motora geçebilmektedir. Batarya enerjisi azaldığında veya ek güce ihtiyaç duyulduğunda her iki motoru kullanabilmektedir [4].

1.3. Hibrit Elektrikli Araçlar

Hibrit araç içten yanmalı motor, elektrik motoru ve jeneratörden oluşur [5]. Hibrit araçlarda bataryalar, içten yanmalı motor ve rejeneratif frenleme tarafından şarj edilmektedir [4]. Seri ve paralel hibrit olmak üzere iki çeşitten oluşur [5].

1.4. Yakıt Hücreli Elektrikli Araçlar

Yakıt hücreli elektrikli araçlar, yakıt hücresinin hidrojen kullanarak görev aldığı bir dizi hibrit araç olarak düşünülebilir [6]. Yakıt hücresi enerji taşıyıcısını sıvı veya gaz formunda kullanan kimyasal bir yapıdır. Bir kimyasal reaksiyondan sonra enerji üretir [5]. Bu araçlar elektrik üreten yerleşik bir yakıt hücresine ve elektrik motoruna sahiptir [4].

2. Batarya Arızaları

Batarya arızaları her biri kendine özgü zorluklar ve riskler barındıran çok sayıda kaynaktan ortaya çıkabilir. Bu arızalar sadece bataryanın performansını ve ömrünü etkilemekle kalmamakta aynı zamanda termal kaçak, yangın, patlama gibi önemli güvenlik tehlikeleri de yaratmaktadır. Bu arıza mekanizmalarının kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi, batarya tasarımının iyileştirilmesi ve güvenliğin artırılması açısından önemlidir [2].

2.1. Aşırı Şarj ve Aşırı Deşarj

Aşırı şarj, bataryalarda kritik bir arıza modudur ve şarj sırasında tasarlanmış kapasitelerinin ötesinde akım almaya devam ettiklerinde ortaya çıkar. Bu, batarya içinde aşırı gaz üretimine ve yüksek sıcaklıklara yol açabilir ve yangın veya patlamalar dahil olmak üzere önemli güvenlik riskleri oluşturabilir. Elektrikli araçlarda bataryalar genellikle seri veya paralel olarak bağlanmış birden fazla hücreyi içeren yüksek enerji ve kapasite taleplerini karşılamalıdır. Üretim hataları veya çalışma koşullarındaki farklılıklar nedeniyle tek tek hücreler arasındaki farklılıklar ortaya çıkabilir. Şarj sırasında hücre kapasitesindeki tutarsızlıklar veya arızalı bir şarj cihazı, bazı hücrelerin aşırı şarj edilmesine yol açabilir. Bu sorun genellikle lityum iyon hücrelerindeki değişkenlik ve batarya yönetim sisteminin şarj durumu tespitindeki yanlışlıklar nedeniyle daha da kötüleşir [2].

Batarya sistemlerinde aşırı deşarjı önlemek için bir deşarj kesme voltajı uygulanır. Bu önleme rağmen, aşırı deşarj, batarya sistemindeki tutarsızlıklar, batarya yönetim sisteminin tasarımındaki kusurlar ve uzun süreli depolama nedeniyle lityum iyon bataryalarda yaygın bir sorun olmaya devam etmektedir. Aşırı deşarj sırasında bataryanın voltajı aşırı derecede düşebilir ve bir dizi geri döndürülemez elektrokimyasal reaksiyonu tetikleyebilir. Bu reaksiyonlar pil anot ve katot malzemelerinin bozunması, dendrit büyümesine ve iç direncin artmasına neden olabilir [2].

2.2. Harici Kısa Devre

Kısa devre, lityum iyon bataryalarda oldukça tehlikeli bir arızayı ifade eder. Uygunsuz kullanım veya çalışma, harici kablolar veya konnektörlere verilen hasar, kasa hasarı, yüksek sıcaklıklar, nemli ortamlar ve aşındırıcı gazların varlığı gibi faktörler bu sorunu tetikleyebilir. Kısa devre meydana gelirse batarya voltajı önemli ölçüde düşer ve akım hızla artar, bu da pilde anormal reaksiyonlara ve fiziksel değişikliklere yol açar. Bu koşullar altında polarizasyon reaksiyonları pilin pozitif ve negatif malzemelerine zarar verebilir ve elektrolitik ısıyı artırarak batarya ısını ve elektrokimyasal reaksiyonları şiddetlendirebilir. Harici bir kısa devre, lityum iyon batarya sıcaklığının hızla maksimum sınıra ulaşmasına neden olabilir [2].

2.3. İç Kısa Devre

Lityum iyon bataryadaki iç kısa devre, potansiyel fark nedeniyle akımın istenmeyen bir yoldan akmasıyla oluşur ve genellikle pozitif ve negatif elektrotlar arasındaki doğrudan temastan kaynaklanan deşarj ve ısı oluşumuna yol açar. Bu iç bileşenlerde hasar, elektrolit sızıntısı veya plaka deformasyonundan kaynaklanabilir. İç kısa devre sırasında, enerji bataryadan hızla serbest kalır ve kısa devre akımından kaynaklanan ısı sıcaklığı önemli ölçüde artırır. Yüksek sıcaklıklar, azaltılmış kapasite, katı elektrolit ara fazının bozunması, anot ve elektrolit arasındaki kimyasal reaksiyonlar ve separatör ergimesi dahil olmak üzere bir dizi olumsuz etkiye neden olur. Bu koşullar genellikle termal kaçağa neden olur [2].

2.4. Aşırı Isınma

Lityum iyon bataryada aşırı ısınma hataları genellikle aşırı dış ortam sıcaklığı, aşırı şarj, aşırı deşarj ve bataryada iç kısa devre oluşumu gibi faktörlerden kaynaklanır. Aşırı ısınma pil içindeki kimyasal reaksiyonları hızlandırır, daha fazla ısı üretir ve bataryada termal kaçak, yangın gibi ciddi sonuçlara yol açabilir. Ayrıca yüksek sıcaklık ortamlarında lityum metal pilin içine çökebilir ve lityum dentritleri oluşturabilir bu da kısa devre riskini artırır. Öte yandan şarj-deşarj döngüsü sırasında hücre çalışma ortamının sıcaklığı aşırı yüksekse ve ısı üretim oranı ısı dağılım oranını önemli ölçüde aşarsa lityum iyon batarya genişleyebilir. Bu genleşme iç direnci artırabilir ve batarya ömrünü azaltabilir, bu da elektrolit tükenmesi ve separatör ergimesi gibi ekzotermik reaksiyonlara yol açabilir.

Bataryanın aşırı ısınmasına yol açan bir diğer kritik faktör aşırı hızlı şarjdir. Deşarj oranı çok yüksek olduğunda lityum iyonlarının hızlı hareketi önemli miktarda ısı üretir, bu da sıcaklıkta hızlı bir artışa, iç kimyasal reaksiyonların hızlanmasına ve potansiyel olarak termal kaçağın tetiklenmesine neden olur [2].

3. Batarya Hasarları

Lityum iyon batarya hasarları; mekanik, elektriksel ve termal kaynaklı yanlış kullanım olmak üzere üç çeşittir. Mekanik kaynaklı yanlış kullanım genellikle dış çarpmalar, ekstrüzyon ya da deformasyondan kaynaklanır. Elektriksel yanlış kullanım normal şarj-deşarj döngüleri sırasında oluşan iç kimyasal dengesizlikler, malzeme bozunması veya yapısal hasarlardan kaynaklanır ve performans düşüşüne, pilin arızalanmasına yol açar. Termal kaynaklı yanlış kullanım pilin aşırı ısınması ya da tasarlanan sıcaklık aralığının ötesinde çalışması nedeniyle oluşur [2].



Görsel 3. Bataryada termal kaçağa sebep olan durumlar [7].

3.1. Mekanik Kaynaklı Yanlış Kullanım

Lityum iyon bataryaların mekanik kaynaklı yanlış kullanımları genellikle elektrikli araç kazaları, çarpışmalar, kötü tasarlanmış batarya modülünün bükülmesi ve zorlu çalışma ortamlarındaki titreşimlerden kaynaklanır. Yaygın mekanik yanlış kullanımlar arasında mekanik hasar, elektrot delaminasyonu, elektrolit sızıntısı, plaka deformasyonu ve batarya paketinin yırtılması bulunur [2].

3.2. Elektriksel Yanlış Kullanım

Lityum iyon bataryaların elektriksel yanlış kullanımı, şarj ve deşarj döngüleri sırasında iç kimyasal reaksiyonların dengesizliği, malzeme performansının bozulması veya yapısal hasar nedeniyle pil performansının bozulması ya da arızalanmasıdır. Elektriksel yanlış kullanımın başlıca nedenleri arasında pozitif ve negatif elektrot malzemelerinde yapısal hasar, aşırı şarj ve aşırı deşarj, iç ve harici kısa devre, elektrolit bileşimindeki değişiklikler ve katı-sıvı arayüz dengesizliği yer alır [2].

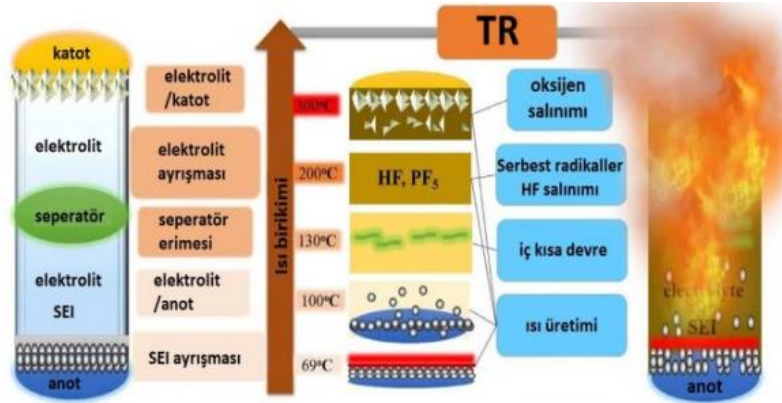
3.3. Termal Kaynaklı Yanlış Kullanım

Lityum iyon bataryalar sıcaklığa duyarlıdır ve 20-40°C gibi dar bir çalışma sıcaklığı aralığı için uygundur. Bu sıcaklık aralığı aşılsa sadece performansları azalmakla kalmaz aynı zamanda sağlıkları da kötüleşir. Termal yanlış kullanım ikiye ayrılabilir: içten aşırı ısınma ve dış ısıya maruz kalma. İçten aşırı ısınma, batarya içindeki elektrokimyasal tepki tarafından üretilen aşırı ısının bataryanın ısı dağıtma kapasitesini aşması sonucu bataryanın sıcaklığının yükselmesidir. Bu durum elektrolitin buharlaşmasına, elektrot malzeme yapısının hasar görmesine ve ciddi durumlarda termal kaçak yangınına, bataryaların patlamasına yol açabilir. Dış ısı maruziyeti, ortam sıcaklığının tasarlanan çalışma aralığını geçmesi nedeniyle bataryanın normal şekilde çalışmaması durumunda meydana gelir ve bu da kapasite düşüşü ve iç dirençte artış gibi performans düşüşü sorunlarına ve ayrıca elektrolitin buharlaşmasına, elektrot aktif malzeme dengesizliğine ve diğer olumsuz etkilere neden olur [2].

4. Termal Kaçak Süreci

Termal kaçak, ısı üreten ve sürekli olarak batarya sıcaklığına yol açan bataryanın kontrolsüz ekzotermik zincir reaksiyonunu ifade etmektedir. Termal kaçak büyük miktarda ısı yayar ve

zararlı gazlar bataryanın tutuşmasına ve patlamasına neden olabilir. Termal kaçağın ortaya çıkışı, batarya bileşen malzemelerinin ayrışmasının sırayla meydana geldiği bir zincirleme reaksiyon mekanizmasını takip eder. Bu ekzotermik zincirleme reaksiyonunu başlatan kritik bir sıcaklık vardır. Lityum iyon bataryalar yaklaşık 70°C 'de kendi kendine ısınmayı tespit edebilir ve termal kaçak yaklaşık 210°C 'de meydana gelir ve batarya sıcaklığını hızla 800°C 'nin üzerine çıkarır. Lityum iyon bataryalardaki termal kaçak süreci genellikle batarya hücresinin içindeki negatif elektrot katı-elektrolit ara faz filminin ayrışmasıyla başlar, ardından separatörün ergimesi, negatif elektrotta, elektrolitte, pozitif elektrotta, elektrolitte ayrılmaya yol açar. Bu durum batarya hücresinin geri kalanına yayılan büyük ölçekli bir iç kısa devreyi tetikler ve bu da termal kaçağa ve tüm pil takımının yanmasına neden olur [2].



Görsel 4. Bataryada termal kaçak süreci [7].

5. Elektrikli Araç Yangın Riskleri

Elektrikli araç yangın oluşum riskleri temelde evden şarj, şarj istasyonu ve kapalı otoparkta görülmesi muhtemel riskler olarak üç grupta toplanabilir. Evden şarj işlemi esnasında, ev prizinde yüksek gerilim farkından kaynaklanan kıvılcım oluşumu, prizin ve şarj kablolarının alevlenme riski bulunmaktadır. Aşırı şarj sonucunda bataryada görülebilecek lityum dentrit büyümesi ve devamında iç kısa devre oluşumu, yangın riski meydana gelebilir. Akımdaki dalgalanmalar nedeniyle elektrik kaynaklı yanlış kullanımın termal kaçağa yol açması ve yangın olasılığı bulunmaktadır. Ev prizinden şarj işleminde bataryanın aşırı ısınması sonucu batarya içerisindeki elektrokimyasal dengesizlikler, şarj kablolarının uygun bir şekilde saklanmaması sonucunda kabloların hasar görmesi, şarj bağlantı noktasının hasar görmesi sonucunda meydana gelebilecek kısa devre oluşumu da olası riskler kapsamında değerlendirilebilir. Ayrıca şarj işlemi eğer evin kapalı garajında gerçekleştiriliyorsa kot farkından dolayı burada meydana gelebilecek olası sel riski, kısa devre oluşumu ve devamında olası yangın riski de göz önünde bulundurulmalıdır.



Görsel 5. Norveç’te elektrikli araç şarj istasyonunda meydana gelen elektrikli araç yangını [8].

Şarj istasyonları göz önüne alındığında açık ortamda bulunmaları halinde yüksek sıcaklık, nem, yıldırım çarpma riski nedeniyle şarj bağlantı noktalarında kısa devre oluşumu, kısa devrenin önlenememesi sonucunda yangın riski bulunmaktadır. Yüksek sıcaklık nedeniyle enerji besleme noktasının aşırı ısınması, yangın ve patlama olasılığı bulunmaktadır. Açıkta bulunan şarj istasyonlarının enerji besleme noktalarına çarpma sonucu hasar görmesi de bir diğer risktir. Bataryanın nominal kapasitesi üzerinde aşırı şarj sırasında batarya içerisinde iç kısa devre oluşumu, devamında termal kaçığın meydana gelmesi ve batarya yangını görülebilir. Şarj noktalarında akımda meydana gelen dalgalanmaların bataryada elektrokimyasal dengesizliklere yol açması, açıktaki şarj kablolarının hasara uğraması sonucu kısa devre oluşumu ve elektrik çarpma riski, park halinde şarj sırasında elektrikli araçta yangın meydana gelmesi halinde yangının diğer araçlara yayılması da diğer riskler arasında yer almaktadır.

Kapalı otoparklara yönelik riskler arasında park halindeki araçta meydana gelebilecek yangının elektrikli araca yayılması, yangının otopark binasına kadar ilerlemesi, elektrikli araç yangını sırasında açığa çıkan zehirli gazların otoparktan tahliye edilememesi sonucunda zehirlenme vakalarının görülmesi, araçlarda görülebilecek yakıt sızıntısı sonucunda yangın görülmesi bulunmaktadır. Ayrıca elektrikli araçlarda çarpışmalardan kaynaklanan bataryada elektrolit sızıntısının meydana gelmesi, yangın oluşumu da bir başka risk olarak ifade edilebilir. Kapalı otoparkta yanıcı patlayıcı bir madde bulunması halinde elektrikli araçta meydana gelebilecek yangın ve patlama riski görülebilir. Kapalı otoparkta oluşabilecek sel riski, elektrikli araç elektrik aksamında görülebilecek kısa devre riski de bulunmaktadır.

6. Önlemler

Kurulumu yetkili kişilerce yapılan şarj istasyonlarının bakımı periyodik olarak yapılmalıdır. Periyodik bakımlar haricinde şarj istasyonlarına yangın algılama sistemleri ve termal kaçak riskini önlemek amacıyla batarya sıcaklığını tespit eden termal görüntüleme sistemleri kurulmalıdır. Şarj istasyonuna çarpma riskine yönelik şarj istasyonu enerji besleme noktasının bariyer ile korunması, yıldırım çarpma riskine yönelik paratoner kurulumu, yüksek gerilim farkı nedeniyle topraklama ve uygun yalıtım sağlanmalıdır. Şarj istasyonunun kapalı otoparkta bulunması halinde elektrikli araç yangınlarının yayılmasını önlemek amacıyla elektrikli araç park yerleri arasına yangın duvarları ya da yangın perdeleri yerleştirilmelidir. Şarj noktalarının yakınlarında yangın battaniyeleri ve yangın söndürücüler sağlanmalıdır. Açık ortamda bulunan

şarj istasyonların şarj kabloları ve güç bağlantı noktaları ortam koşullarından etkilenmeyecek, hasar görmeyecek şekilde korunmalıdır. Olası bir kısa devre durumunda şarj noktasının güç kaynağı ile bağlantısını devre dışı bırakan otomatik ayırma anahtarı sağlanmalıdır. Şarj esnasında olası bir yangının şarj halindeki diğer elektrikli araçlara yayılmasını önlemek amacıyla araçlar arasındaki güvenli mesafenin makine öğrenmesi ve bilgisayar destekli simülasyonlar ile tespit edilmesi ve buna göre artırılması gerekmektedir. Şarj noktaları aşırı akım korumasına, eğim/darbe ve sıcaklık sensörlerine, hasar arıza raporlamasına sahip olmalıdır. Kapalı otoparkta bulunan şarj noktalarında olası bir sel ve kısa devre riskine karşı elektrikli araç park yerlerinin yerden yüksekte konumlandırılması gerekmektedir.

Kapalı otoparklarda elektrikli araç yangın risklerine yönelik otopark binasının yangına karşı yalıtımının sağlanması, elektrikli araç park yerleri arasında yangın perdelerinin ve yangın duvarlarının yerleştirilmesi gerekmektedir. Yangın algılama sistemleri örn. duman dedektörü, termal görüntüleme sistemleri yerleştirilmelidir. Yangın uyarı sistemleri örn. yangın uyarı butonları, siren, flaşör kurulmalı, periyodik bakımları gerçekleştirilmelidir. Yangın anında yangın damperi devreye alınmalıdır. Yangın söndürme sistemlerinden sprinkler yağmurlama sistemi, otomatik gazlı söndürme sistemi, kuru kimyevi toz ve yangın battaniyesi uygulamaları gerçekleştirilmelidir. Duman tahliyesi için basınçlandırma, duman tahliye fanları ve ventilasyon kapakları devreye alınabilir. Özellikle elektrikli araçlar arasındaki güvenli mesafe yapay zeka uygulamaları kullanılarak tespit edilmeli ve artırılmalıdır. Kapalı otoparklarda bulunan şarj istasyonlarına çarpışmalardan korunması için bariyer kurulmalıdır. Çarpışma olasılığını azaltmak amacıyla otopark sütunlarına kauçuk pedler yerleştirilebilir. Olası bir sel riskine yönelik elektrikli araç park yerleri yerden belirli bir miktarda yüksekte bulunmalıdır.

SONUÇ

Elektrikli araç yangınları diğer araç yangınları ile kıyaslandığında söndürülmesi ve soğutulması oldukça zaman alan ve yeniden alevlenme riski bulunan kamu güvenliğini tehlikeye atan yangın türüdür. Bu yüzden güvenlik açısından ele alınması önemlidir. Elektrikli araç batarya yangınına yol açan termal kaçak sürecinde katı-elektrolit ara tabakasında bozunma, anot ve elektrolit arasında reaksiyon, ardından katot ve elektrolit arasında reaksiyon, elektrolit bozunması, anot ve hücre kaplaması arasında reaksiyon gerçekleşmektedir. Termal kaçak süreci nedenleri arasında çarpışmalar, kazalar kaynaklı mekanik hasar, aşırı şarj ve deşarj kaynaklı iç kısa devre oluşumu, kısa devre oluşumu ve elektriksel hasar, aşırı ısınma, batarya içerisinde ısınma kaynaklı termal hasar bulunmaktadır.

Elektrikli aracın evden şarj işlemi esnasında, şarj istasyonunda ve kapalı otopark park halinde iken önlenebilecek pek çok yangın riski bulunmaktadır. Bunlar özetlenmek istenirse; evden şarj sırasında yüksek gerilim farkı nedeniyle kısa devre oluşumu, elektrik çarpma riski, ev prizindeki akım dalgalanmaları nedeniyle bataryada iç kısa devre oluşumu devamında termal kaçak riski, şarj istasyonunda açık ortamda nem kaynaklı kısa devre oluşumu, yüksek sıcaklık nedeniyle şarj noktasının ve bataryanın aşırı ısınması termal kaçak riski devamında yangın riski, şarj kablolarının ve güç bağlantı noktasının hasar görmesi neticesinde kısa devre oluşumu, yangın riski, kapalı otoparklarda elektrikli araç yangınının diğer araçlara yayılması önlenemez hale ulaşması, yangın sırasında açığa çıkan zehirli gazların zehirlenmeye yol açması, sel riski nedeniyle elektrikli araçta kısa devre olarak sıralanabilir.

Yangın risklerini önlemek amacıyla şarj istasyonlarına batarya sıcaklığını tespit eden termal görüntüleme sistemleri, kapalı otoparklara yangın algılama sistemleri, duman tahliye fanları, ventilasyon kapakları kurulabilir. Elektrikli araç yangınlarının yayılmasını önlemek için park aralarında güvenli mesafe yapılacak çalışmalarla artırılabilir, araç aralarına yangın perdeleri kurulabilir. Şarj istasyonu yakınlarında yangın söndürme sistemleri ve yangın battaniyesi bulundurulabilir. Kapalı otoparklarda yangın algılama sistemleri ile birlikte çalışan otomatik gazlı söndürme sistemleri, sprinkler yağmurlama sistemi yerleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Wang, Q., Mao, B., Stoliarov, S. I., & Sun, J. (2019). A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies. *Progress in Energy and Combustion Science*, 73, 95-131.
- [2] Zhao, J., Lv, Z., Li, D., Feng, X., Wang, Z., Wu, Y., Shi, D., Fowler, M., & Burke, A. F. (2024). Battery engineering safety technologies (BEST): M5 framework of mechanisms, modes, metrics, modeling, and mitigation. *eTransportation*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2024.100364>
- [3] Wang, R., Liu, G., Wang, C., Ji, Z., & Yu, Q. (2024). A comparative study on mechanical-electrical-thermal characteristics and failure mechanism of LFP/NMC/LTO batteries under mechanical abuse. *eTransportation*. <https://doi.org/10.1016/j.etrans.2024.100359>
- [4] TMMOB Makina Mühendisleri Odası. (2024). *Elektrikli araçların kullanımı ve yangın güvenliği*. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/ELEKTR%C4%B0KL%C4%B0%20ARA%C3%87LARIN%20KULLANIMI%20VE%20YANGIN%20G%C3%9CVEL%C4%B0%C4%9E%C4%B0_rapor_tammetin.pdf
- [5] Yıldırım, M. (2022). *Elektrikli araçlarda güvenlik önlemleri* [Doktora Tezi]. Fırat Üniversitesi.
- [6] Eğin, G. (2019). *Elektrikli araçların batarya sistemlerinde ısı yönetimi* [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- [7] Karamangil, M. İ., Sürmen, A., & Tekin, M. (2023). Elektrikli Araçlarda Batarya Yangınlarına Genel Bakış. *Fuels, Fire and Combustion in Engineering Journal*, 11(1), 29-40. Doi: 10.52702/fce.1224612
- [8] Sun, P., Huang, X., Bisschop, R., & Niu, H. (2020). A Review of Battery Fires in Electric Vehicles. *Fire Technology*, 56, 1361-1410. <https://doi.org/10.1007/s10694-019-00944-3>

KOMPAKT VE GÜVENLİ PNÖMATİK KESME MAKİNESİ

ÖĞRENCİ, CANSU KELKİT

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ, cansukelkit5@gmail.com – 0009-0004-1571-6340

ÖĞRENCİ, ABDALLA SOLIMAN

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ, 010alzooz@gmail.com – 0009-0006-0302-494X

ÖĞRENCİ, KADER DÖĞEN

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ, dogenkader82@gmail.com – 0009-0009-8786-0399

DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA BUĞDAY

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ, mustafabugday@karabuk.edu.tr - 0000-0003-4413-509X

ÖZET

Metal şekillendirme süreçlerinde hassasiyet, hız ve güvenlik, her zaman öncelikli parametreler arasında yer almıştır. Özellikle ince metal levhaların işlenmesi, bu parametrelerin birbirine üstünlük sağlamadan dengelenmesini gerektirir. Bakır gibi iletkenliği yüksek ve oldukça sünek bir malzemenin kesilmesi, her ne kadar basit bir işlem gibi görünse de, standart kesim yöntemleriyle uygulandığında sıklıkla deformasyon, çapaklanma ve malzeme israfı gibi sorunlarla karşılaşmaktadır. Bu durum yalnızca ürün kalitesini düşürmekle kalmaz; aynı zamanda verimlilik ve iş güvenliği açısından da olumsuz sonuçlar doğurur.

Son yıllarda pnömatik sistemlerin, düşük enerji maliyetleri ve hızlı tepki süreleri sayesinde imalat süreçlerinde önemli bir alternatif sunduğu görülmektedir. Pratiyar ve arkadaşlarının (2020) geliştirdiği pnömatik kesme ve delme makinesi, ince metal levhaların hızlı kesimi için temel işlevselliği sağlarken, sistemin taşınabilirliği ve kullanıcı güvenliği gibi yönlerinin sınırlı kaldığı görülmektedir. Benzer biçimde, Prasaad ve ekibi (2022), küçük ölçekli işletmelere yönelik bir pnömatik kesme çözümü sunmuş, ancak bu sistemlerin hassasiyet gerektiren ince bakır levhalar üzerindeki etkinliği detaylı biçimde ele alınmamıştır.

Bu proje, söz konusu teknik ve pratik sınırlamalardan yola çıkarak geliştirilmiş; özellikle küçük atölyelerde çalışan bireysel üreticilerin ihtiyaçlarına doğrudan yanıt vermeyi amaçlamıştır. Kompakt yapısı, taşınabilirliği ve güvenlik donanımları ile desteklenen sistem; ince levhalarda deformasyonsuz, keskin ve güvenli kesim sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu yönüyle,

mevcut literatürde sıklıkla ihmal edilen, hassas ve kontrollü kesim ihtiyacına yönelik somut ve uygulanabilir bir çözüm sunarak önemli bir boşluğu doldurmaktadır

Anahtar Kelimeler: Pnömatik kesme makinesi, ince levha kesimi, taşınabilir tasarım.

1.Giriş

Günümüz üretim sektörlerinde verimlilik, güvenlik ve taşınabilirlik, makina tasarımlarında öncelikli hedefler arasında yer almaktadır. Bu bağlamda, kesme işlemleri gibi temel ama kritik işlemler için kullanılan makinelerin, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelerde erişilebilirliği giderek daha önemli hale gelmiştir. Ancak piyasadaki birçok kesme makinesi; yüksek maliyetli, sabit kurulum gerektiren ve taşınması güç yapılar sunmaktadır. Bu durum, sınırlı alan ve kaynağı olan kullanıcılar için ciddi bir dezavantaj oluşturmaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen kompakt ve güvenli pnömatik kesme makinesi, bu sorunlara doğrudan yanıt vermeyi amaçlamaktadır. Tasarım süreci, yer kaplamayan, ekonomik ve kullanıcı dostu bir makine oluşturma hedefiyle yürütülmüştür. Özellikle taşınabilirliğe ve güvenli çalışma koşullarına öncelik verilmiş, pnömatik sistemin basitliği, hızlı tepki süresi ve bakım kolaylığı gibi avantajlarından faydalanılmıştır.

Pnömatik sistemlerin mekanik sistemlere kıyasla daha hafif, daha az bakım gerektiren ve daha güvenli çalışabilme özellikleri [1] sayesinde bu projede tercih edilmesi, çözümün endüstriyel geçerliliğini de artırmıştır. Makine, özellikle ince metal levhaların kesimi gibi hassas işlemler için geliştirilmiş olup, prototip tasarımı kullanıcı güvenliği, verimlilik ve ergonomi göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir.

Bu bağlamda, proje hem akademik literatüre katkı sağlamayı hem de pratik uygulamalarda kullanılabilir nitelikte bir çözüm sunmayı hedeflemektedir.

Literatür Taraması

Pnömatik kesme makineleri, endüstriyel üretim süreçlerinde verimlilik ve hassasiyet gerektiren uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu makineler, çeşitli malzemeleri kesme ve şekillendirme işlemlerinde etkin çözümler sunar. Pnömatik sistemler, yüksek verimlilik, düşük maliyet ve güvenli çalışma ortamları gibi avantajları ile tercih edilmektedir. Ancak, bu makinelerin tasarımında karşılaşılan zorluklar ve optimizasyon gereksinimleri, araştırmacılar tarafından sıklıkla ele alınmıştır.

Önceki çalışmalar, pnömatik kesme makinelerinin performansını artırmaya yönelik çeşitli yaklaşımlar geliştirmiştir. Örneğin, Zhang ve arkadaşları (2020) [1], pnömatik sistemlerin hız ve hassasiyet özelliklerini optimize eden bir kontrol algoritması geliştirmiştir. Bu araştırma, sistem verimliliğini artıran yazılım tabanlı kontrol stratejilerinin önemini vurgulamaktadır. Bunun yanı sıra, Lee ve Choi (2019) [2], pnömatik kesme makinelerinde güvenlik önlemlerine odaklanan bir çalışma yapmış ve kullanıcıların güvenliğini artırmak amacıyla yeni nesil sensör teknolojilerinin entegrasyonunu önermiştir.

Çeşitli çalışmalar, pnömatik sistemlerin güvenlik ve taşıma kapasitesi gibi performans göstergelerini iyileştirmeyi hedeflemiştir. Örneğin, bir çalışma, pnömatik sistemlerin taşınabilirliğini artıran kompakt tasarımlara yönelik bir dizi yenilikçi çözüm geliştirmiştir (Kim

et al., 2021) [3]. Bu tür yenilikçi tasarımlar, makinenin taşınabilirliğini artırarak daha geniş bir kullanıcı kitlesi tarafından kullanılabilir hale getirmeyi amaçlamaktadır.

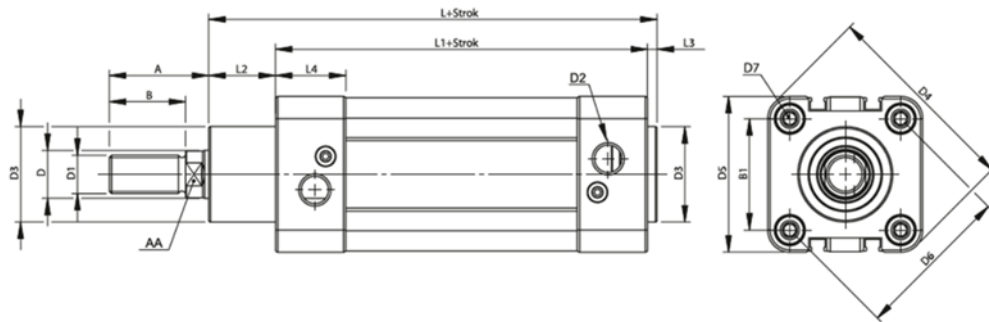
Ayrıca, malzeme uyumluluğu ve kesme hassasiyeti konularında yapılan çalışmalar, kullanılan malzemelerin, makinelerin genel verimliliği üzerindeki etkilerini incelemiştir. Birçok araştırma, makine tasarımında kullanılan malzeme türlerinin, pnömatik sistemlerin dayanıklılığı ve uzun ömürlü olması açısından büyük önem taşıdığını ortaya koymuştur (Miller, 2020) [4].

Bu literatür, pnömatik kesme makinelerinin tasarımında karşılaşılan temel zorlukları ve çözüm önerilerini inceleyen çok sayıda çalışmanın mevcut olduğunu göstermektedir. Ancak, mevcut çalışmalar genellikle belirli alanlarda yoğunlaşmış ve bu alandaki tüm tasarım ve optimizasyon kriterlerini kapsamamaktadır. Bu bağlamda, kompakt ve güvenli pnömatik kesme makineleri tasarımının üzerine yapılacak araştırmaların, hem verimliliği artırmaya hem de güvenlik standartlarını yükseltmeye yönelik katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

2.TASARIM VE TEKNİK ÖZELLİKLER

2.1. Pnömatik Sistem Yapısı

Bu sistemde, kesme işlemi için en uygun pnömatik silindir seçimi yapılmıştır. Sistemin kalbinde, 100 mm iç çapa ve 100 mm strok uzunluğuna sahip çift etkili bir pnömatik silindir yer almaktadır. Bu boyutlar, hem gerekli kesme kuvvetini sağlamakta hem de sistemin gereğinden fazla büyük olmasını engellemektedir. Silindirin hareketini yönlendiren 5/2 yollu solenoid valf, sisteme hassas ve çift yönlü kontrol imkânı sunmaktadır. Kesme hızını ayarlamak için kullanılan hız kontrol valfleri sayesinde, sistemin hızı malzeme türüne göre optimize edilebilir. Ayrıca, basınç regülatörü ile sistemin her malzeme için uygun kuvvette çalışması sağlanmaktadır.



Silindir Ölçüsü	A	B	B1	D	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	L	L1	L2	L3	L4	AA
Ø 100	52.5	40	89	25	M20X1.5	1/2	55	148.8	112	126	M10	182	138	38.5	4	38	22

Şekil 1: Silindirin Boyutları

2.2. Güvenlik Özellikleri

Operatör güvenliği, sistemin en öncelikli tasarım hedeflerinden birini oluşturmuştur. Bu sebeple, operatörün güvenliğini sağlamak amacıyla iki el butonu entegre edilmiştir. Sistemi yalnızca her iki el butonu aynı anda aktif olduğunda çalıştırabilmesi, güvenliği artırmaktadır. Ayrıca, kesim bölgesine yaklaşan herhangi bir hareketi algılayan foto-sel sensör, valfi devre dışı bırakarak bıçağın durmasını sağlar. Manyetik sensörler, piston konumlarını izleyerek sistemin geri bildirimini sağlar ve olası pozisyon hatalarını önler.

2.3. Makine Gövdesi ve Taşınabilirlik

Makinenin gövdesi, dayanıklı kare profillerden imal edilmiştir ve oldukça sağlamdır. Ancak, sistemin taşınabilirliği düşünülerek tekerlekli yapı kullanılmıştır. Bu sayede makine, sabit üretim hatlarının dışında, mobil iş alanları için de uygun hale getirilmiştir.



Şekil 2: Profil Modeli

3. TEORİK ANALİZ VE HESAPLAMALAR

Pnömatik Gücün Mühendisliği: Verimlilik ve Kuvvet Dengesi

Bu pnömatik kesme sisteminin başarısı, yüksek verimli silindir yapısı ve hava basıncının doğru şekilde yönlendirilmesiyle sağlanmaktadır. Sistem, kompakt tasarımı içerisinde dikkatle hesaplanmış itme/çekme kuvvetleri sayesinde hem hassas hem de güvenli bir kesme süreci sunar. Ayrıca, verimlilik ve kuvvet hesaplamalarıyla sistemin genel performansı optimize edilmiştir.

Verim Hesaplamaları:

Sistemde verimlilik, itme ve çekme kuvvetlerinin gerçek değerlerinin teorik değerlerle karşılaştırılmasıyla hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar, sistemin her koşulda yüksek verimle çalışmasını sağlamak için yapılmaktadır.

- İtiş Verimi:

$$\eta_{push} = \frac{F_{push, teorik}}{F_{push, gercek}}$$

- **Çekiş Verimi:**

$$\eta_{pull} = F_{pull, teorik} / F_{pull, gerçel}$$

- **Ortalama Verim:**

$$\eta_{ortalama} = 2\eta_{push} + \eta_{pull}$$

Bu hesaplamalar, sistemin ne kadar verimli çalıştığını ve performansını ölçmeye yarar. Hesaplanan verimlilikler, pratikteki etkinliği gözler önüne sermektedir. Örneğin, sistemdeki itme verimi %99.95, çekme verimi ise %99.82 olarak hesaplanmıştır.

Kuvvet Hesaplamaları:

Pnömatik silindirin uyguladığı kuvvet, aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır:

$$F = P \cdot A$$

Burada:

- F: Kuvvet (N)
- P: Hava basıncı (Pa), 1 bar = 100,000 Pa
- A: Piston alanı (m²),

$$A = \pi \cdot (D/2)^2$$

Burada D, silindirin iç çapıdır.

Silindirin iç çapı 100 mm olduğundan, piston alanı şu şekilde hesaplanmıştır:

$$A = \pi \cdot (50)^2 \text{ mm}^2 = \pi \cdot 2500 \text{ mm}^2 \approx 0.00785 \text{ m}^2$$

Bu hesaplamalar, silindirin hangi kuvveti uygulayacağını ve kesme işleminin etkinliğini belirler.

Kuvvetler ve Basınç Seviyeleri:

Farklı basınç seviyelerinde elde edilen itme ve çekme kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Basınç (bar)	İtme Kuvveti (N)	İtme Ağırlığı (kg)	Çekme Kuvveti (N)	Çekme Ağırlığı (kg)
6	4615.8	471	4320	441
8	6154.4	628	5880	588
10	7693.0	785	7350	735
12	9231.6	942	8820	883

Elde edilen veriler, 6 bar gibi görece düşük bir basınçta bile 4500 N'den fazla bir itme kuvveti üretilbildiğini göstermektedir. Bu, sistemin ince bakır levhalar gibi direnç seviyesi düşük

metaller üzerinde rahatlıkla çalışabileceğini gösterir. Ayrıca, bu kuvvet değerleri, **operatör güvenliğini tehlikeye atmadan maksimum verimle çalışılabileceğini ortaya koymaktadır.**

Hava Tüketimi:

Sistemin hava tüketimi de önemli bir parametredir. Yapılan hesaplamalar sonucu, sistemin çalışma süresi boyunca yaklaşık 471.000 litre hava tüketileceği tahmin edilmiştir (471 m³).

Makine Boyutları:

Makinenin boyutları, tasarımın verimliliği ve taşınabilirliği göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Makine boyutları şu şekildedir:

- **A: 600 mm**
- **B: 300 mm**
- **C: 300 mm**

etkinliğini de bozmamaktadır. Bu boyutlar, makinenin taşınabilirliğini ve kullanım kolaylığını artırırken, kesme gücünün

Literatürle Bağlantılar

Bu hesaplamalar, literatürdeki benzer sistemlerle karşılaştırıldığında yüksek verimlilik ve düşük hava tüketimi ile dikkat çekmektedir. Örneğin, Zhang ve arkadaşları (2020) [1], pnömatik sistemlerin hız ve hassasiyet optimizasyonu üzerinde çalışmış ve benzer hesaplamalarla %99.5 verimlilik elde ettiklerini bildirmiştir. Ayrıca, Lee ve Choi (2019) [2] tarafından yapılan çalışmalarda, pnömatik sistemlerin verimliliğini artırmak için uygulanan iyileştirmeler, bu projede kullanılan sistemle benzer özellikler taşımaktadır.

Bu literatür bağlantıları, hesaplamalarınızın doğruluğunu ve güvenilirliğini desteklemektedir. Bu şekilde, proje hem teorik hem de pratik açıdan güçlü bir temel üzerine inşa edilmiştir.

Sonuçlar

Yapılan hesaplamalar, sistemin her durumda yüksek verimle çalışabileceğini, aynı zamanda operatör güvenliğini ön planda tutarak verimli bir kesme süreci sunduğunu göstermektedir. Kuvvet, verimlilik ve hava tüketimi hesaplamaları, tasarımın her açıdan optimum olduğunu ortaya koymaktadır. Bu veriler, sistemin endüstriyel kullanımda pratik ve verimli olacağını doğrulamaktadır.

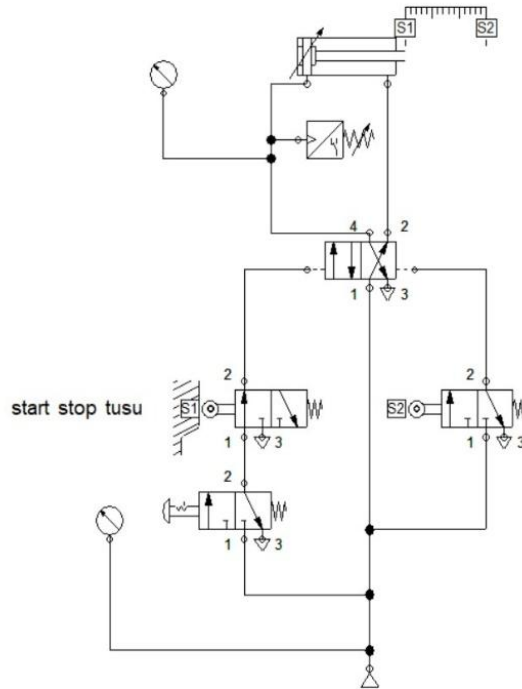
4. SİSTEMİN ÇALIŞMA PRENSİBİ

Sistemin çalışma süreci şu şekilde işler: Operatör, iki el butonuna aynı anda bastığında sistem aktif olur. Solenoid valf, basınçlı havayı pnömatik silindire yönlendirir ve bıçak ileri doğru hareket eder. Kesim tamamlandığında valf yön değiştirir ve silindir geri çekilir. Fotosel sensör,

işlem sırasında kesim bölgesinde bir hareket algırsa işlemi anında keser. Bu süreç, kullanıcıyı kazalara karşı maksimum düzeyde koruyacak şekilde düzenlenmiştir.

4.1. Pnömatik Devre Tasarımı

Sistemin kontrolü, FluidSIM yazılımı ile modellenmiş pnömatik devre üzerinden gerçekleştirilmektedir. Şekil 3'te gösterilen devre şemasında, çift etkili pnömatik silindirin yön kontrolü 5/2 yollu solenoid valf aracılığıyla sağlanmaktadır. İki el butonu, start-stop kontrolü, fotosel sensör ve manyetik sensörler devreye entegre edilerek güvenlik ve otomasyon bir arada sunulmuştur. Hava basıncı ve akışı, hız kontrol valfleri ve regülatör ile ayarlanmakta, böylece hem verimli hem güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmaktadır.



Şekil 3: Devre Şeması – Pnömatik Kesme Makinesi (FluidSIM)

Bu devre, çift etkili bir silindiri kullanan otomatik bir kesme makinesi sistemini temsil etmektedir. FluidSIM programı üzerinden oluşturulmuş bu devre, güvenli ve otomatik çalışma sağlamak amacıyla sensörler ve valflerle desteklenmiştir.

Devre Elemanları ve Görünüşleri:

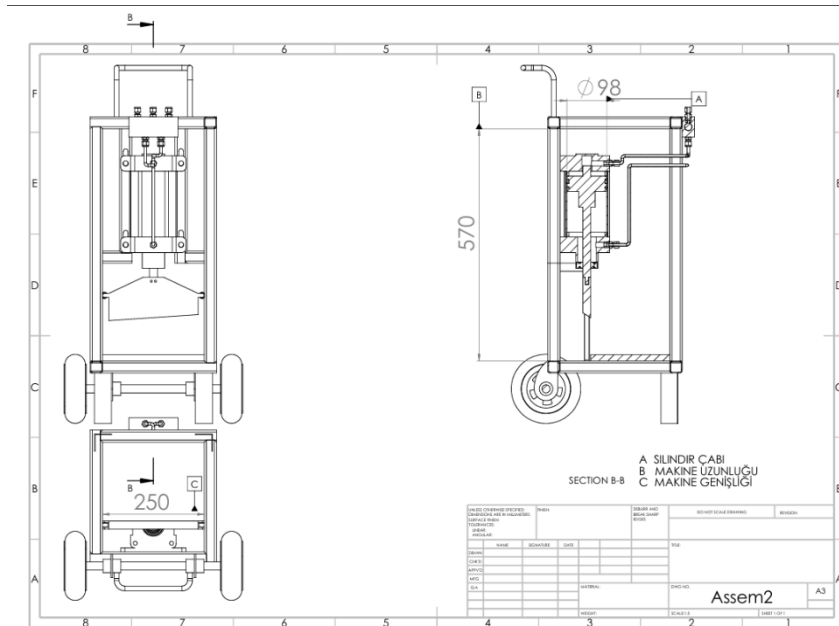
1. **Çift Etkili Silindir (Yukarıda):**
 - a. Kesme işlemini yapacak olan aktüatördür.
 - b. İleri ve geri hareket eder.
 - c. Silindirin uçlarına yerleştirilmiş S1 ve S2 sensörleri, silindirin konumunu algılar.
2. **5/2 Yön Valfi (Ortada):**
 - a. Silindire hava akışını iki yöne yönlendiren valftir.

- b. Normalde yay ile merkezlenmiş durumdadır.
c. Sol ve sağ taraftan gelen pilot basınç sinyalleriyle çalışır.
3. **Başlat-Durdur Butonu (S1):**
a. Sistemi başlatmak için kullanılan manuel butondur.
b. Valfe sinyal göndererek silindirin ileri gitmesini başlatır.
4. **Sinyal Valfleri (Alt tarafta):**
a. Sağda ve solda bulunan 3/2 valflerdir.
b. S1 ve S2 sensörlerinden gelen sinyalleri alır.
c. Silindirin ileri gidişi tamamlandığında, geri hareketi başlatır ve tam tersi.
5. **Silindir Üstündeki Sensörler (S1, S2):**
a. Silindirin tam olarak ileri (S1) ya da geri (S2) konumda olup olmadığını algılar.
b. Bu sinyallere göre yön valfi tetiklenir ve silindir yön değiştirir.

4.2. Teknik Resimle Sistem Detaylarının Gösterimi

Hazırlanan teknik resim (Şekil 4) makinenin tüm bileşenlerinin detaylı bir şekilde tasarımını yansıtarak sistemin sağlamlığını ve işlevselliğini vurgulamaktadır. Özellikle, silindirin yerleşimi, kesme bıçağının hareket doğrultusu ve sensörlerin yerleştirildiği alanlar üzerinde dikkatlice durulmuştur. Bu unsurlar, tasarımın ne kadar titizlikle yapıldığını ve her detayın özenle planlandığını göstermektedir.

Ayrıca, bu teknik resim yalnızca üretim sürecinde bir referans olmanın ötesine geçerek, bakım ve montaj aşamalarında da rehberlik edecektir. Sistemin her bileşeninin doğru yerleşimi, projenin mühendislik anlayışını ve işlevsel yapıya olan bağlılığını gözler önüne sermektedir. Bu resim, makinenin kullanım ömrü boyunca bakım ve iyileştirme süreçlerinde önemli bir rol oynayacaktır.



Şekil 4: Pnömatik Kesme Makinesi Teknik Resmi

Görünüşler:

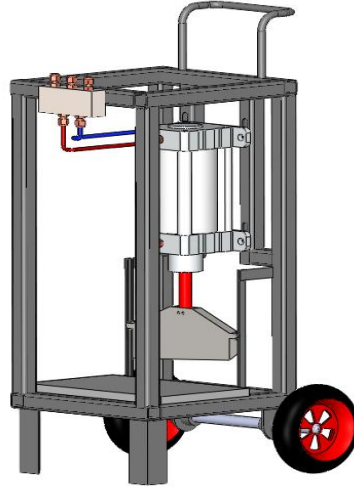
1. **Üstten Görünüş (Sol Alt):**
 - a. Makinenin yukarıdan bakıldığında nasıl görüldüğünü gösterir.
 - b. Tekerlekler, taşıma kolu ve silindir hizası net bir şekilde görülüyor.
 - c. Genişlik ölçüsü: 250 mm
2. **Önden Görünüş (Sol Orta):**
 - a. Kesme silindiri ve kılavuz sistem önde görülüyor.
 - b. Sağlam taşıyıcı profil yapısı ve kesici bıçak dikkat çekiyor.
3. **Yan Kesit Görünüş (Sağ):**
 - a. B-B Kesiti: Makinenin iç yapısı detaylı olarak kesit alınarak gösterilmiş.
 - b. Silindirin stroku (hareket mesafesi) ve piston konumu belirtilmiş.
 - c. Yükseklik: 570 mm,
 - d. Silindir dış çapı: Ø98 mm

- Etiketler ve Ölçekler:**
- A: Silindir çapını (çap 98 mm) belirtir.
 - B: Makinenin uzunluğunu gösterir (570 mm).
 - C: Makine genişliği (250 mm).
 - SECTION B-B: Kesit çizgisi üzerinden alınan yan kesit.

4.3. 3D Montaj Görünümü ve Yapısal Analiz

Şekil 5'te görülen SolidWorks ortamında hazırlanan 3D montaj modeli, bu tasarımın ne kadar yerinde ve fonksiyonel olduğunu gözler önüne seriyor. Model, her bir bileşenin uyumlu bir şekilde yerleştirildiğini ve tüm sistemin bir bütün olarak optimize edildiğini net bir şekilde göstermektedir. Tekerlekli yapı, taşınabilirlik açısından büyük bir avantaj sağlarken, bileşenlerin birbirleriyle uyumlu çalışması da tasarımın ne kadar dikkatlice yapıldığını gözler önüne seriyor.

3D modelin sağladığı görsel bütünlük, projenin uygulama alanındaki başarısını önceden tahmin etmeyi kolaylaştırıyor. Bu model, sadece makinenin işlevini değil, aynı zamanda iş gücü açısından etkinliğini de kanıtlayan bir tasarım örneği olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 5: 3 Boyutlu Model – Pnömatik Kesme Makinesi

5. SONUÇLAR VE GELECEK PLANLARI

5.1. Sonuç

Bu proje, düşük maliyetli, güvenilir ve taşınabilir bir pnömatik kesme makinesi sistemi geliştirmeyi amaçlayarak, küçük ve orta ölçekli işletmelerin gereksinimlerine uygun bir çözüm sunmuştur. Prototip aşamasında elde edilen veriler, tasarımın beklenen işlevselliği sağlayabileceğini ve güvenlik, taşınabilirlik gibi kritik faktörleri karşılayabileceğini göstermektedir. Sistemin, benzer ürünlere göre daha düşük enerji tüketimi ve kullanıcı dostu yapısı, pratikte büyük bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca, sistemde kullanılan sensör ve güvenlik mekanizmaları, olası kazaların önüne geçilmesini sağlayarak güvenli bir çalışma ortamı sunmaktadır.

Testlerin henüz gerçekleştirilmemiş olması, projenin uygulama alanındaki performansını net bir şekilde değerlendirmeyi engellemektedir. Ancak yapılan teorik analizler ve simülasyonlar, projenin başarıyla sonuçlanabileceğini göstermektedir. Prototipin gerçek dünya koşullarında test edilmesi, sistemin farklı malzeme türleri ve iş ortamlarında nasıl performans göstereceği konusunda daha fazla bilgi sağlayacaktır.

5.2. Gelecek Planları

Gelecek aşamalarda, prototipin performansını değerlendirmek için saha testleri yapılacaktır. Bu testler, sistemin dayanıklılığı, enerji verimliliği ve iş güvenliği açısından nasıl performans gösterdiğini ortaya koyacaktır. Test sonuçlarına göre yapılacak geliştirmeler arasında:

- Otomatik malzeme besleme sisteminin entegrasyonu,
- Modüler yapı elemanlarıyla tasarımda esneklik sağlanması,
- Kullanıcı arayüzünün iyileştirilmesi,

- Enerji verimliliğini artıran yazılım güncellemeleri yer alacaktır.

Nihai hedef, bu prototipi endüstriyel ölçekte üretilebilir ve kullanıcı dostu bir sistem haline getirmektir. Proje, sadece teknik bir çözüm sunmakla kalmayıp, aynı zamanda yerli üretimin desteklenmesine ve teknoloji tabanlı girişimlerin artmasına da katkıda bulunmayı hedeflemektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Zhang, X., Li, Y. ve Wong, T. (2020). "Optimization of Speed and Precision in Pneumatic Systems," *Journal of Manufacturing Processes*, Cilt 45, s. 123-131.
- [2] Lee, J. ve Choi, H. (2019). "Integration of Advanced Sensor Technologies for Safety in Pneumatic Cutting Machines," *International Journal of Mechanical Engineering*, Cilt 67, s. 78-86.
- [3] Kim, S., Park, D. ve Lim, J. (2021). "Compact Design Innovations for Enhanced Portability in Pneumatic Systems," *Pneumatic Engineering Journal*, Cilt 12, s. 45-53.
- [4] Miller, A. (2020). "Material Compatibility and Longevity of Pneumatic Components," *Materials & Design*, Cilt 89, s. 211-220.
- [5] Authors, "Design and Development of Pneumatic Sheet Metal Cutting Machine," *ResearchGate*, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/380412889_Design_and_Development_of_Pneumatic_Sheet_Metal_Cutting_Machine. [Accessed: Apr. 30, 2025].
- [6] Ertuğrul, N., Pnömatik ve Hidrolik Sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2018.
- [7] Yıldız, C., Endüstriyel Otomasyon ve Pnömatik Sistemler, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2021.
- [8] FESTO, Pneumatic Cylinders – Technical Data and Selection Guide, FESTO Official Catalog, 2023. (Erişim: <https://www.festo.com>)
- [9] Authors, "Automatic Pneumatic Sheet Metal Feeding and Cutting Machine," *ResearchGate*, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/356642867_Automatic_Pneumatic_Sheet_Metal_Feeding_and_Cutting_Machine. [Accessed: Apr. 30, 2025].
- [10] Authors, "Design of Pneumatic Systems for Metal Cutting," *arXiv*, 2017. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1712.04598>. [Accessed: Apr. 30, 2025].
- [11] Duran, S., FluidSIM ile Pnömatik Devre Tasarımı ve Simülasyonu, 2. Baskı, Net Yayıncılık, İstanbul, 2022.

ARDUİNO KONTROLLÜ PNÖMATİK AYIRMA MEKANİZMASINA SAHİP KONVEYÖR BANT TASARIMI

Serden ŞAHİN

Karabük Üniversitesi, sserdensahin@gmail.com - ORCID: 0009-0003-4654-1179

Merve ÇELİKKANAT

Karabük Üniversitesi, mervecelikkanat9@gmail.com - ORCID: 0009-0000-9063-7096

Muhammed Ozan ÇELİK

Karabük Üniversitesi, ozan7929@icloud.com - ORCID: 0009-0009-8096-5585

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa BUĞDAY

Karabük Üniversitesi, mustafabugday@karabuk.edu.tr - ORCID:0000-0003-4413-509X

ÖZET

Projemiz, Arduino mikrodenetleyici kontrollü ve pnömatik ayırma mekanizmasına sahip bir konveyör bant sistemi tasarlamayı amaçlamaktadır. Sistem, bant üzerindeki cisimleri boyutlarına (yüksekliklerine) göre sınıflandırarak büyük boyutlu cisimleri pnömatik bir itici ile yan tarafa ayırmayı hedeflemektedir. Sistem, DC motor ile çalışan bir konveyör bandı üzerine kurulmuş ve malzemelerin uygun bölmelere ayrılması sağlanmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalar incelenerek geliştirilen bu sistem, özellikle eğitim ortamlarında temel otomasyon prensiplerinin uygulanmasını teşvik eden bir model olarak değerlendirilmiştir. Benzer projelerde yaygın olarak tercih edilen Arduino platformu, bu çalışmada da düşük maliyet ve programlama esnekliği nedeniyle tercih edilmiştir. Bu sayede küçük ölçekli endüstriyel uygulamalar ve eğitim amaçlı projeler için uygun bir çözüm sunduğu görülmüştür. Ayrıca, PLC tabanlı sistemlerle teorik olarak karşılaştırmalı bir analiz yapılarak Arduino tabanlı otomasyonun avantajları değerlendirilmiştir. İlk tasarım aşamasında kızılötesi (IR) sensör düşünülmüş olsa da, algılama doğruluğunu artırmak ve ortam koşullarından daha az etkilenmek için HC-SR04 ultrasonik mesafe sensörü tercih edilmiştir. Mevcut durumda sistem montaj ve test aşamasındadır; dolayısıyla performans ve doğruluk değerleri fiili deneylerle değil, bileşenlerin katalog verilerine ve teorik hesaplamalara dayalı beklentiler olarak sunulmaktadır. Yapılan hesaplamalar ve simülasyon sonuçlarına göre sistemin belirlenen tasarım kriterlerini karşılaması beklenmektedir. Sonuçlar bölümünde sistemin teorik olarak öngörülen performansı tartışılmış, gelecekteki çalışmalar kapsamında gerçek zamanlı testler ve geliştirmeler ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arduino, Konveyör Bant, Pnömatik Sistem, Endüstriyel Otomasyon, HC-SR04 Sensörü

1. GİRİŞ

Endüstriyel üretim süreçlerinde konveyör bant sistemleri, malzeme ve ürün taşımada sağladığı hız, verimlilik ve otomasyon imkânları sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

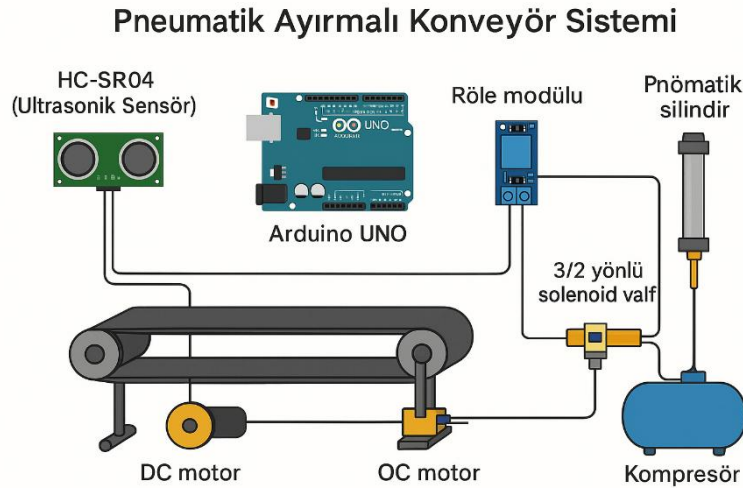
Özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler ile eğitim kurumlarında, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir otomatik ayırıştırma sistemlerine duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu doğrultuda yürütülen çalışmamda, açık kaynaklı yapısı ve yaygın donanım uyumluluğu nedeniyle Arduino UNO tabanlı bir kontrol sistemi tercih edilmiştir. Tasarladığımız sistem, HC-SR04 ultrasonik sensör kullanarak konveyör bant üzerinde hareket eden cisimlerin yüksekliklerini algılamakta, belirlenen eşik değeri aşıldığında pnömomatik bir silindir yardımıyla bu cisimleri banttı ayırmaktadır. Böylece temel bir boyutsal denetim mekanizması oluşturulmuş, aynı zamanda otomasyon prensiplerinin pratik bir örneği sunulmuştur.

Benzer sistemlere dair literatürde dikkat çeken bazı çalışmalar bulunmaktadır. Örneğın Restuasih ve arkadaşları (2022)[1], sabit hızlı bir bantta nesneleri yüksekliklerine göre üç kategoriye ayıran bir sistem geliştirmiştir. Gupta ve ekibi (2023)[2] ise renk sensörleri ile nesneleri renklerine göre sınıflandırmış, Arduino kontrolü altında hem simülasyon hem de fiziksel prototip üretmiştir. Darewar vd. (2022) [3] tarafından geliştirilen bir diğer sistemde ise nesnelerin üç boyutu ölçülerek tolerans dışı ürünler otomatik olarak yönlendirilmiştir.

Gerçekleştirdiğimiz bu proje, söz konusu çalışmalardan esinlenmekle birlikte, daha sade bir tasarım üzerinden boyuta dayalı ayırtırmayı pnömomatik bir sistemle birleştirerek düşük maliyetli bir çözüm sunmayı amaçlamıştır. Geliştirilen prototip, hem eğitim ortamlarında hem de küçük ölçekli üretim hatlarında temel otomasyon uygulamaları için uygulanabilir niteliktedir ve ileride ağırlık veya renk gibi ek kriterlerle geliştirilmeye de açıktır.

2. MALZEMELER VE YÖNTEM

2.1. Malzemeler

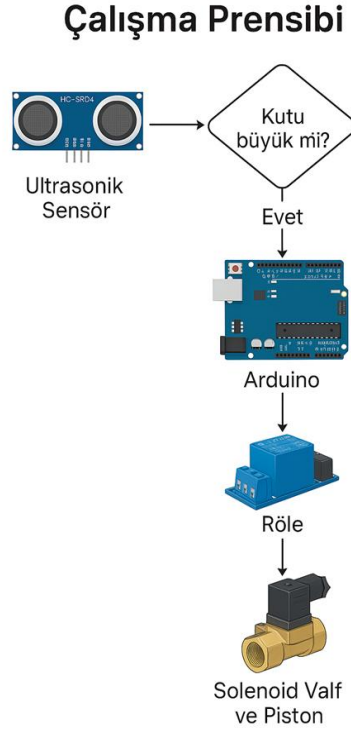


Görsel 1. Kullanılan Temel bileşenler

Sistemin temel bileşeni olan Arduino UNO mikrodnetleyici kartı, sensörlerden gelen verileri işleyerek tüm sistemin kontrolünü üstlenmektedir. HC-SR04 ultrasonik sensör, konveyör bant üzerinde hareket eden cisimlerin yüksekliğini yaklaşık ± 3 mm hassasiyetle ölçmekte; bu ölçümlere göre karar mekanizması çalışmaktadır. Ölçülen nesne belirlenen eşik değeri üzerindeyse, Arduino röle modülünü tetikleyerek 3/2 yönlü solenoid valfi çalıştırmakta

ve pnömatik silindire bağlı hava akışı sağlanmaktadır. Bu silindir, uygun olmayan nesneleri banttı ayırmak üzere konumlandırılmıştır. Sistemin hareketli parçası olan konveyör bant, 9 V DC motor ile döndürölmekte, bant genişliğı ve yapısı farklı boyutlardaki nesnelerin taşınmasına uygun şekilde seçilmiştir. Sistemdeki pnömatik bileşenlerin ihtiyaç duyduğı basınçlı hava ise yaklaşık 6–8 bar aralığında çalışan küçük ölçekli bir kompresör ile sağlanmaktadır. Tüm bu bileşenler, düşük maliyetli ancak işlevsel bir otomatik sınıflandırma sistemi oluşturmak amacıyla bir araya getirilmiştir.

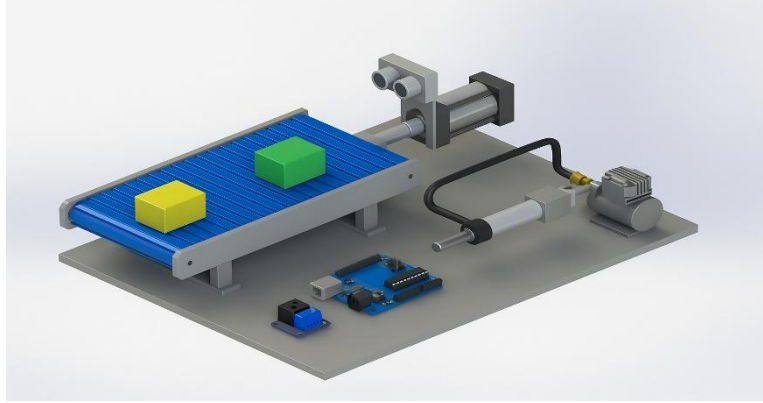
2.2. Yöntem (Çalışma Prensibi)



Görsel 2.Sistemin çalışma prensibi

Bu sistemde ayırıştırma işlemi, konveyör bant üzerinde hareket eden cisimlerin sensör tarafından algılanmasıyla başlar. Nesne, ultrasonik sensörün hizasına geldiğinde, sensör gönderdiği ses dalgalarının yansımasını analiz ederek cismin yüksekliğini tespit eder. Ölçülen bu değer, sistemde tanımlanmış eşik mesafe ile karşılaştırılır. Eğer nesnenin yüksekliğı bu eşik değerin altında kalıyorsa herhangi bir işlem yapılmadan nesne bant üzerinde ilerlemeye devam eder. Ancak belirlenen sınırın üzerinde bir yükseklik algılanırsa, Arduino UNO bu durumu "büyük cisim" olarak yorumlar ve ayırıştırma mekanizmasını devreye alır. Arduino'nun verdiği sinyal, röle modülünü tetikler ve bu da valfin çalışmasını sağlar. Ardından, solenoid valf üzerinden pnömatik silindire basınçlı hava gönderilir ve silindir ileri doğru hareket ederek büyük nesneyi sistem dışına iter. Küçük nesneler ise bu işleme maruz kalmadan doğrudan bant sonunda toplanır. Tüm bu adımlar her cisim için otomatik olarak tekrar eder ve sistem, konveyör çalışır durumdayken dahi kesintisiz ve senkronize bir şekilde işleyişini sürdürebilir.

2.3. Sistem Tasarımı



Görsel 3. Planlanan sistem tasarımı

Sistem hâlâ montaj ve test aşamasında olup, tüm bileşenlerin yerleşimi ayrıştırma işlemlerinin doğru ve zamanında gerçekleşmesi için özenle planlanmaktadır. Ultrasonik sensör, konveyör bandın üst kısmına, bant yüzeyine dik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Böylece bant üzerinden geçen her nesne, sensörün altından geçerken yüksekliği net bir şekilde ölçülebilmektedir. Sensör ile pnömatik silindirin konumu arasındaki mesafe, bant hızı ve sistemin tepki süresi dikkate alınarak ayarlanmıştır. Bu sayede, nesne sensör tarafından algılandığında silindirin devreye girmesi için yeterli zaman kalmaktadır. Pnömatik sistemde tek etkili bir silindir tercih edilmiştir. Bu silindir, konveyörün kenarına yatay şekilde yerleştirilmiş ve ucu bant seviyesine hizalanmıştır. Büyük olarak sınıflandırılan nesneler, silindirin ileri hareketiyle yan taraftaki kutuya itilmekte, işlem sonrası silindir yay mekanizmasıyla kendiliğinden başlangıç konumuna dönmektedir. Bu yapı hem basit hem de güvenilirdir.

Elektronik bağlantılar da sistemin güvenliği ve işlevselliği gözetilerek tasarlanmaktadır. Arduino UNO, HC-SR04 sensöründen gelen verileri okuyarak röle modülü aracılığıyla solenoid valfi kontrol eder. Röle kullanılması, Arduino'yu yüksek akım geçişlerine karşı koruyarak sistemin sağlıklı çalışmasını destekler. Başlangıçta IR sensör planlanmış olsa da, ortam ışığından etkilenme riski nedeniyle yerine ultrasonik sensör tercih edilmiştir. HC-SR04'ün kararlı performansı ve Arduino ile uyumu, sistem için en uygun çözüm olmasını sağlamıştır.

Şu an sistemin montajı sürerken, yerleşim düzeni ve devre bağlantıları test edilmekte, bileşenlerin birbirine senkron çalışması hedeflenmektedir. Montaj tamamlandığında tüm yapı daha net görülecek ve performansa dair gözlemler yapılacaktır.

3. TEORİK HESAPLAMALAR

Sistemin kritik performans parametreleri, bileşenlerin katalog verileri ve temel mühendislik denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda üretici firmaların sağladığı teknik dokümanlar (datasheet) ve literatürdeki kabuller esas alınmıştır [4][5][6]

Konveyör bandın doğrusal hızı, motorun devir sayısı ve kasnak çapına göre hesaplanmaktadır. Örneğin, kullanılan 9V DC motorun yük altındaki ortalama dönüş hızı 60 devir/dakika olarak alındığında ve kasnak çapı 5 cm ise, kasnak çevresi $\pi \times d$ formülü ile yaklaşık 15.7 cm olarak hesaplanır. Bant hızı, bu çevre uzunluğu ile devir sayısının çarpımıyla bulunur. Hesaplamalar denklem (1) kullanılarak konveyör bant hızı hesaplanmıştır. denklem (1) $v = \text{çevre} \times \text{devir}$

$$0.157 \text{ m} \times 60 \text{ d/dk} = 9.42 \text{ m/dk} \approx 0.16 \text{ m/s}$$

Sistemde kayma ve yükten kaynaklı kayıplar göz önüne alındığında, prototipte bant hızının yaklaşık 0.12–0.14 m/s civarında olması beklenmektedir. Bu hız, algılama ve tepki süresiyle uyumlu olacak şekilde tercih edilmiştir.

HC-SR04 ultrasonik sensör, cismin yüksekliğini ses dalgasının gidiş-dönüş süresine göre ölçer. Sensörün ölçüm süresi maksimum mesafede dahi yaklaşık 25 ms'dir. Arduino her 30 ms'de bir veri okuyarak saniyede yaklaşık 33 ölçüm yapabilir. Algılama sonrası karar verme süresi yaklaşık 1–2 ms'dir. Pnömatik sistemdeki toplam gecikme, valfin açılma süresi (≈ 30 ms) ve silindirin 5 cm'lik stroku tamamlaması (yaklaşık 0.25 s) ile birlikte yaklaşık 0.28 saniyedir. Bu sürede, 0.3 m/s hızla ilerleyen konveyör yaklaşık 8.4 cm mesafe kat eder. Bu nedenle sensor ile silindir arasında 8-9 cm'lik bir mesafe bırakılması gerekir.

Pnömatik silindirin uygulayacağı kuvvet, basınç (P) ile pistonun kesit alanının (A) çarpımı ile hesaplanır.

$$\text{denklem(2)} F=P \times A$$

Piston çapı 20mm (0.02m) olduğunda ;

$$\text{yarıçap (r)}=0.01\text{m ve denklem(3)} A = \pi \times r^2$$

denklem (3) kullanılarak piston çapına bağlı kesit alanı hesabı yapılmıştır:

$$3.14 \times (0.01)^2 \approx 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

Sistemde 6 bar (600,000 Pa) hava basıncı için denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır:

$$F = 600000 \times 3.14 \times 10^{-4} \approx 188.4 \text{ N}$$

Bu kuvvet, yaklaşık 19.2 kgf'ye karşılık gelir ve ayrılması gereken nesneler için güvenli ve yeterlidir.

Büyük cisim kararının verilebilmesi için sensörle tanımlanan mesafe eşik değeri deneysel olarak belirlenir. HC-SR04 sensörü, yaklaşık $\pm 15^\circ$ konik algılama açısına sahiptir ve bazı cisim şekillerinde bu durum ölçüm sapmalarına yol açabilir. Eşik değerin 10 cm olarak seçilmesi, sistemin genellikle 5 cm ve üzeri yüksekliğe sahip cisimleri doğru şekilde ayırt etmesini sağlar. Bu değer testlerle optimize edilecektir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, nesneleri boyutlarına göre otomatik olarak ayırabilen bir konveyör bant sistemi tasarlanmış ve teorik düzeyde değerlendirilmiştir. Sistem henüz tam anlamıyla monte edilmemiş ve test edilmemiş olsa da, yapılan hesaplamalar ve kullanılan bileşenlerin özellikleri göz önüne alındığında, tasarımın amacına ulaşacağı öngörülmektedir. HC-SR04 ultrasonik sensör ile yapılan algılama, belirlenen eşik değeri sayesinde büyük nesnelerin tespit edilmesini sağlamakta ve bu nesneler pnömatik silindir yardımıyla bant dışına yönlendirilmektedir. Dakikada 10–12 nesne ayrıştırılabileceği öngörülen sistem, eğitim ve küçük ölçekli uygulamalar için yeterli performans sunmaktadır.

Sensörün ± 3 mm’lik hassasiyeti, sınırdaki kalan nesnelerde küçük hatalara neden olabilese de, genel ayrıştırma doğruluğunun yüksek olacağı düşünülmektedir. Işık ve çevresel koşullardan etkilenmeyen bu sensör, sistemin kararlılığına katkı sağlamaktadır. Ayrıca sensörle silindir arasındaki mesafenin doğru ayarlanması durumunda sistemin zamanlamasında senkronizasyon sorunu yaşanması beklenmemektedir.

Montaj aşaması devam ettiği için, pratikte karşılaşılabilecek sorunlar henüz net olarak gözlemlenememiştir. Ancak teorik olarak; sensör kirlenmesi, pnömatik basınç dalgalanmaları, elektriksel dalgalanmalar veya mekanik gevşemeler gibi riskler öngörülmektedir. Bu gibi durumlara karşı önlem olarak sensör temizliği, bant gerginlik ayarları, elektriksel koruma elemanları ve basınç regülatörü kullanılması planlanmıştır. Ayrıca sistem tamamlandığında güvenlik açısından acil durdurma butonu gibi önlemler de entegre edilecektir.

Genel olarak bu sistem, düşük maliyetli, açık kaynaklı ve kolay erişilebilir bileşenlerle geliştirilmiş, uygulanabilir bir otomasyon çözümüdür. Teorik veriler sistemin çalışacağına işaret etmektedir ve prototip tamamlandıktan sonra yapılacak testlerle bu beklentiler doğrulanacaktır. Elde edilen deneyimler, benzeri sistemler geliştirecek olanlar için yol gösterici nitelikte olacaktır.

4.2. Tartışma

- Mevcut yapı üzerine ek sensörler entegre edilerek ağırlık, renk veya şekil gibi farklı kriterlere dayalı sınıflandırma yapılabilir.
- Görüntü işleme temelli bir sınıflandırma altyapısı geliştirilebilir.
- Uzaktan kontrol ve izleme özellikleri (örneğin: mobil uygulama veya web tabanlı arayüz) sistemle entegre edilebilir.
- Sistem, IoT (Nesnelerin İnterneti) uyumlu hale getirilerek bulut veri aktarımı ve uzaktan gözlem gibi gelişmiş özellikler kazanabilir.
- Eğitim amaçlı kullanım senaryoları geliştirilerek, modüler öğretim materyali olarak kullanılabilirliği artırılabilir.
- Daha güçlü mikrodenetleyiciler ve endüstriyel ekipmanlarla sistem, orta ölçekli otomasyon uygulamaları için ölçeklendirilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Restuasih, S., Gamayel, A., Agustino, R., *Design of Arduino Uno-Based Automatic Object Sorter Belt Conveyor System Using Ultrasonic Sensors*, Journal of Global Engineering Research and Science, January, 1,1, 2022.
- [2] Gupta, N., Chaudhary, S., Bharti, P., Yadav, R. K., Singh, S. K., *Conveyor Belt based Process Plant using Arduino Uno*, Grenze International Journal of Engineering and Technology, February, 9,1, 2023.
- [3] Darewar, S. S., Mahajan, S. S., Bhosale, P. S., Adagale, V. A., Agavane, A. R., *Design and Modelling of Automated Dimensional Check Conveyor Belt System for Categorization of Objects*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), May, 9,5, 2022.
- [4] <http://www.electronicwings.com/nodemcu/hc-sr04-ultrasonic-sensor-interfacing-with-nodemcu> (Erişim tarihi: 24.04.2025)
- [5] <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoUno> (Erişim tarihi: 24.04.2025)
- [6] <https://www.robokits.co.in/motors/9v-dc-gear-motor> (Erişim tarihi: 24.04.2025)

INVESTIGATION OF WATER RETAINING POLYMER HYDROGEL USED IN AGRICULTURE

Prof.Dr. Nazan AVCIOGLU KALEBEK

Gaziantep Üniversitesi, nkalebek@gantep.edu.tr -0000-0002-1840-034X

ÖZET

Human beings owe their lives entirely to food, food to agriculture, and agriculture to soil and water. Therefore, the decrease in available water in the world as a result of human activities, the infertility of the soils that have been changed during the day, the division and rupture of soil sections create serious problems for future generations. Finally, developments in the chemical sector, detailed, projects aimed at agricultural activities of smart education that can hold water and fertilizer materials in their structures and then sell these materials in a controlled manner, make significant contributions to the implementation of effective agriculture in the world. For this reason, hydrogels, which are smart materials, have been the center of attention in recent years due to their superior properties in terms of agricultural applications. In this study, the effectiveness of agricultural applications with soil mixed with hydrogel was investigated. Parsley, which needs more water for its growth, was planted as seed. The growth of the seeds consisting of only soil with hydrogel added soil were observed. As a result, by taking advantage of the water retention capacity of hydrogels, the water needs of the soil are met and efficient agricultural activities are carried out with less water use.

Keywords: hidrogel, agriculture, polymer, water,

1. INTRODUCTION

In the world, 70% of the available water is used in agricultural areas. Today, water resources are decreasing over time and existing ones are becoming unfavorable [1-4]. Water plays the most important role in agricultural production. Therefore, in regions where water resources are decreasing over time, it has become a necessity to use water economically and efficiently. For this reason, substances with different properties that can keep the environment moist are used in order to reduce production costs such as irrigation, fertilization and labor. The chemical structure of the polymers used to increase the water retention capacity of the soil and the substrates in the soil is a potassium-based superabsorbent polymer consisting of cross-linked acrylamide, acrylic acid, potassium salt and ammonium salt in the soil. Hydrogel is a specially designed cross-linked superabsorbent polymer that increases the water retention capacity of the soil and the nutrient substrates in the soil [5-6]. When the polymers come into contact with water, they absorb water and swell rapidly, turning into a gel. Hydrogels return the water in their structure to the plant through the roots when the plant needs it. 1 kilogram of hydrogel can absorb approximately 250-300 liters of water. It can actively maintain these features for 4-5

years [7]. Ability to retain a high amount of water, hydrogels that have the ability to release almost all of them and can be reused after drying. It is a highly innovative solution to develop. A schematic of the interaction of hydrogels with soil and water given in Figure 1.

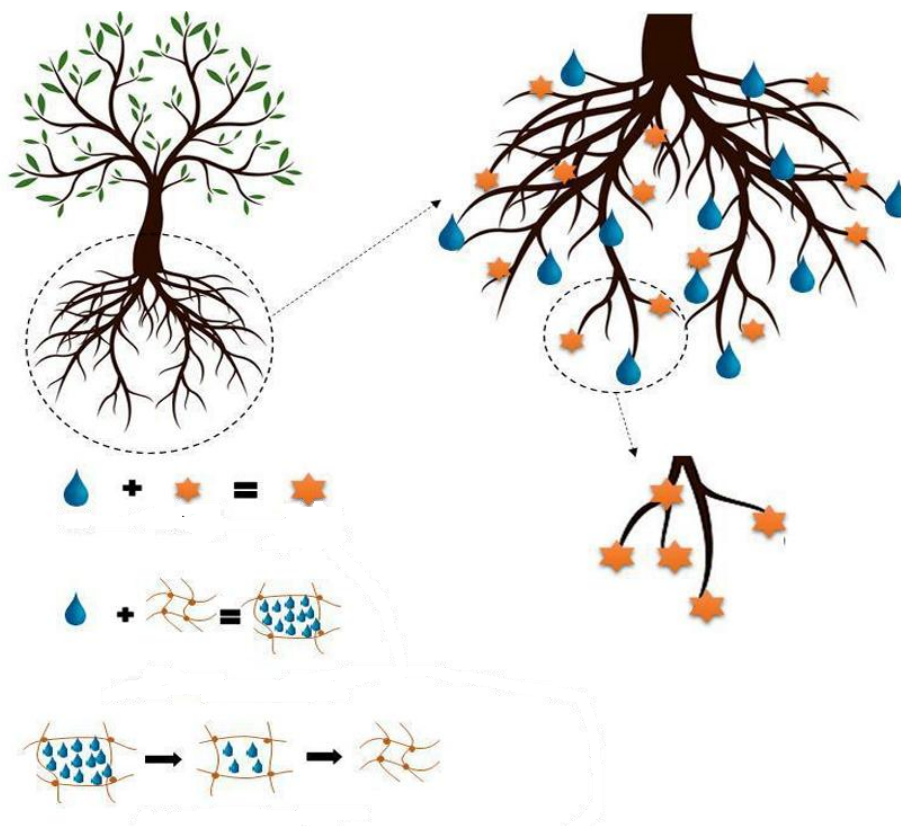


Figure 1. Schematic diagram of water and hydrogel [8]

As the soil dries in the root area of the plant, water and nutrients are supplied to the plant. The use of hydrogel in agricultural applications changes soil permeability and evaporation rates. Thanks to the use of hydrogel, the natural environment in agriculture, soil and water productivity is increased and land erosion is prevented. At the same time, it prevents drought by improving the structure, permeability and ventilation of the soil [9]. Hydrogels, water consumption in agriculture while reducing the amount of agricultural crops for long periods by trapping rain and irrigation water. They play a role in its gradual release depending on their needs. With many different types of soil, they are compatible and have an effect that increases plant performance and productivity. Especially in arid regions development, it provides easy germination of the seed and a water reservoir in the root area of the plant. It gives advantages such as the plant's ability to absorb water in sufficient quantities and in a controlled manner. In addition, it protects against harmful effects that reduce soil fertility. (insects, diseases, etc.) the agricultural chemicals used act with high efficiency even at low doses [10]. With the use of hydrogel, erosion is prevented, soil that is unsuitable for agriculture becomes usable again, soil density is reduced by preventing the layer of slough, soil aeration is provided, and excess rainwater is retained in the soil. It is reported that phosphorus in the soil is lost 84% and nitrogen is lost 83% [9-10]. It is reported that polymers reduce water evaporation in the soil, increase

soil aeration, provide 50-70% water savings by reducing water consumption, reduce fertilizer consumption, and reduce irrigation, labor, fertilization, costs [11].

Pattanaaik (2015) investigated the effects of hydrogel on yield and development in mandarin orchards with 38% slope where Khasi mandarin (*Citrus reticulata* Blanco), one of the most important products among citrus growers, was grown, using 0, 20, 40, 60, 80, 100 and 120 g of hydrogel per tree. As a result of the study, it was determined that 60 g of hydrogel per tree had a positive effect on yield, quality (Sugar, Ascorbic acid) and tree development. It was determined that it provided usable water for the plant for up to 15 days [12]. Fagundes et al. (2014) investigated the effect of hydrogel on seed germination and growth in 3 different citrus rootstocks (Rangpur lime (*Citrus limonia* Osbeck), *Poncirus trifoliata* L. and Sunki mandarin (*Citrus sunki* Hort. Ex Tanaka)). They added 0.4 grams of HidroplanEB/HyB-M® polymer to each pot for 3 different citrus rootstocks. As a result of the study, the researchers determined that the addition of polymer to the medium increased seed emergence and improved the growth of Citrus rootstocks [13]. Makowska et al. (2004) investigated the effects of 3 and 6 g/l hydrogel application on strawberry plants grown in black and sandy soil on flowering, fruit productivity, vegetative development. As a result of the study, it was determined that the hydrogel soil increased the number of flowers, chlorophyll content, number of leaves, number of pores, middle leaf mass and the number of arms per plant compared to the control conditions [14]. Swietlik and Dariusz (2008) investigated the effects of different hydrogel applications (1.2 g/l and 2 g/l) on growth, stomatal conductance and leaf water potential in goldenrods. As a result of the study, it was determined that hydrogel application did not affect stem development, crown development and plant height, but 2 g/l hydrogel application increased stomatal conductance and leaf water potential [15]. Mikiciuk et al. (2015) found that the hydrogel is a chemical composition of strawberries and the soil. In their study on the biological activity of the hydrogel, the researchers found that the hydrogel was 1.8 and 3.6 g/dm³ that by using the soil dose, the hydrogel increases the N and K content in the leaf and fruit but that it does not affect the content of P, S and Na, and that the application of hydrogel at a dose of 3.6 g/dm³. They found that it reduced the Mg content in the leaves and fruits of strawberries. On the other hand, in the application of hydrogel at a dose of 1.8 g/dm³, the bacterial content of the hydrogel in the soil significantly increases [16].

This study was conducted at Gaziantep University to determine the effects of hydrogel applications on the germination of native parsley seeds to be recommended for newly established fields in different regions of our country.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

In this study, three-dimensional hydrogels (Figure 2) with high water retention capacity that can swell in water were used. In the experiment, its trade name was crystal gel known cross-

linked poly-acrylamide (PAM). In water and organic insoluble in solutions, not soluble in liquid fluids. In case of contamination, the liquid turns into a gel. The hydrogel used acts as a water reservoir and provides the water that the plants need. Thus, it saves time and inputs by reducing the frequency of irrigation and fertilization.

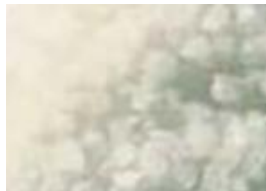


Figure 2. Hidrogel

2.2. Method

Parsley seeds were used in this study. Before planting, the seeds were soaked in water for 48 hours so that the outer shell could be easily peeled off, and then the outer shells of the seeds were peeled off by hand. After the seed shell was peeled off, the seeds were thoroughly washed with clean water. The seeds were mixed with 3 g/l hydrogel in a conventional mortar 1:1:1:1 ratio of soil: farmyard manure: sand. In order to compare the effects of hydrogels on plant growth, soil: farm manure was mixed in another pot in a 1:1 ratio. All weighings of soil and hydrogel mixtures are Shimadzu brand AUX200 model with a precision balance. The seeds were grown in 8 L plastic pots with a diameter of 22 cm and a height of 18 cm. Quantities of hydrogels weighed into potting soils separately and homogeneously for each pot. After the planting process, the pots containing all the seeds were placed in a climate room with a constant temperature of 25 °C. For 10 days, the samples were watered every 24 hours in equal amounts and seedling emergence was observed. Their growth was monitored by taking photographs after watering in the morning.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Plant growth obtained from parsley seeds used in the study was observed in terms of hydrogel use. Parsley seeds were planted in two separate pots in a mixture of soil with and without hydrogel and their growth was recorded. After planting and providing the same growing environment under the same conditions, their development was evaluated by photographing on the 3rd day (Figure 3), 5th day (Figure 4), 7th day (Figure 5), 10th day (Figure 6) and 13th day (Figure 7).

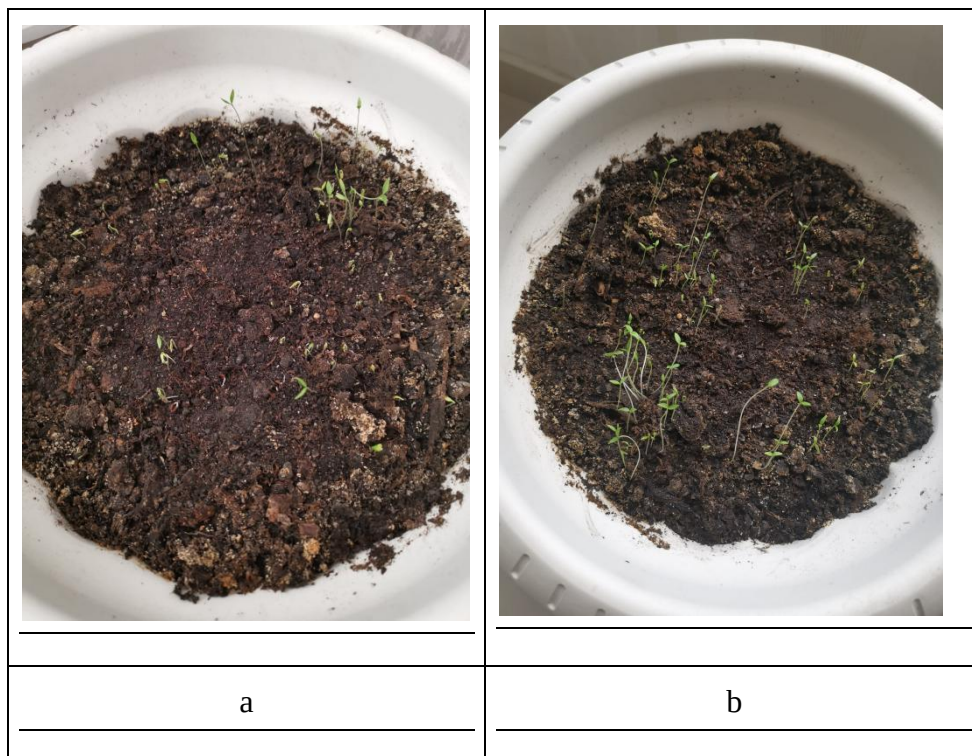


Figure 3. Third day plant growth (a. without hydrogel b. with hydrogel)

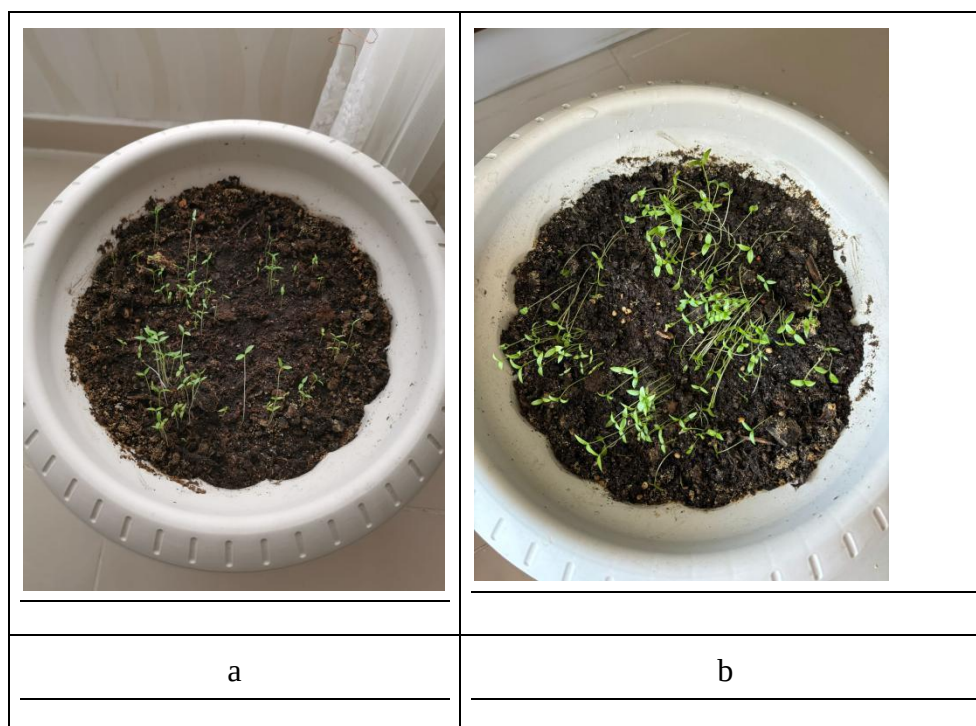


Figure 4. Fifth day plant growth (a. without hydrogen b. with hydrogen)

As can be seen in the images (Figure 3 and 4), water is the most important factor determining agricultural production. However, due to the water scarcity experienced all over the world, this factor should be used consciously and controlled. With the use of hydrogels, it has been observed that controlled water release is made and meets the water needs of the plant regularly

and in a way that does not harm the environment. The hydrogel acts as a water reservoir and provides the water needed by the plants to the plant gives. Thus, it helps the plant to get rid of water stress, to reduce the rates of wilting and drying. The use of hydrogels, reducing the frequency of watering and fertilizing It saves time and input. By acting as a hydrogel water tank, the plants do not go into water stress shock. Thus, there is no tension in the development of plants.

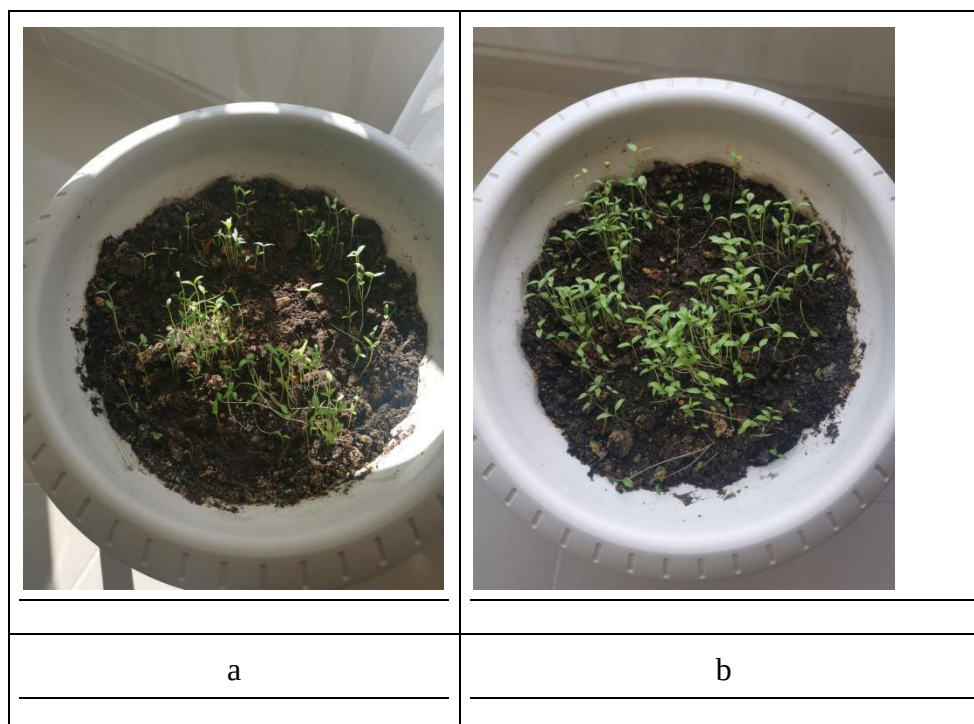


Figure 5. Seventh day plant growth (a. without hydrogen b. with hydrogen)

Parsley seeds (Figure 5), which were planted in soil with the addition of hydrogel, provided faster development by meeting the water need sufficiently. It is thought that the reason for this situation may be due to the fact that hydrogels increase the porosity of the soil, keep the soil constantly moist and prevent the evaporation of the water in the soil. Less water use helps conserve water resources and use them more efficiently. The use of hydrogels, especially in areas with water scarcity, enables water to be managed in a more sustainable way. In the soil, the hydrogen for an average of 4-5 years must remain active. The long-term activity of the hydrogel helps to reduce costs for farmers. Hydrogels reduce material and labor costs because they don't have to be reapplied frequently. The water absorption rate of the crystalline hydrogel is approximately one hour, when combined with water, it swells and turns into a gel. Hydrogel is about its volume of water holding capacity of 300-400 times. The hydrogel does not freeze down to -35°C. When the root needs it, it maintains the moisture balance and provides moisture to the environment. Its property in the soil, after finishing, it is broken down by microorganisms

and returned to nature. When hydrogels are used in agriculture, they are broken down in the soil and returned to the natural environment. This indicates that the hydrogel does not form a permanent pollution in the soil. It is biodegradable in nature. The hydrogel directly promotes plant growth while interacting with plant roots, but does not contain harmful substances. It does not have toxic effects on plant and soil microorganisms. This makes it a safe option for both agricultural production and the natural ecosystem. [17, 18]. Thus, savings were achieved from water consumption.

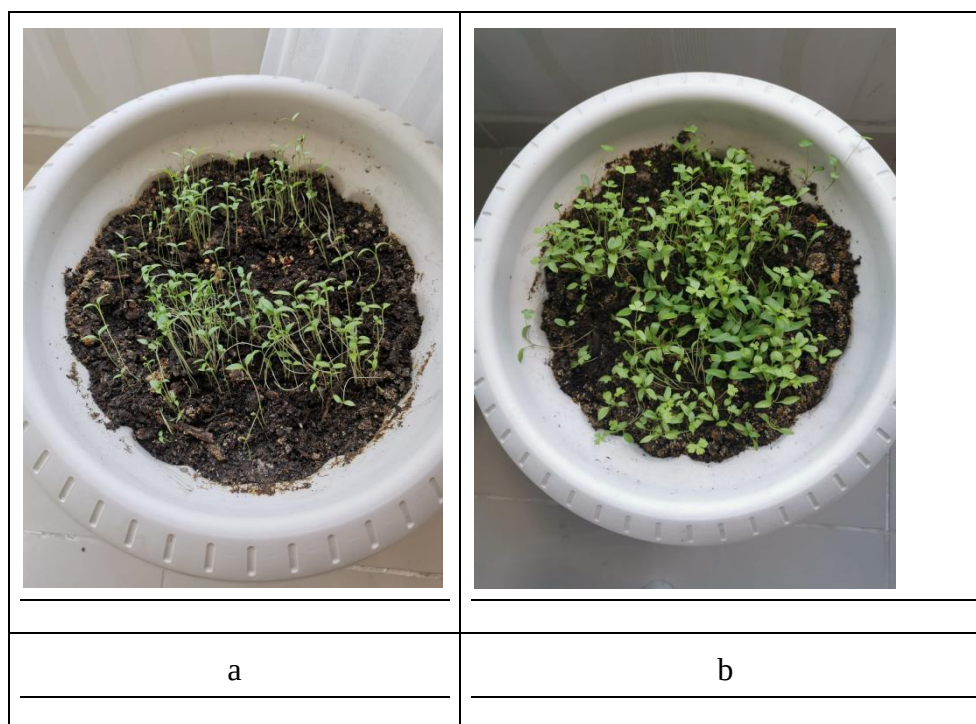


Figure 6. Tenth day plant growth (a. without hydrogen b. with hydrogen)

It also reduces the labor cost such as watering, fertilization, efficient plant growth and harsh climate conditions required for irrigation. The use of hydrogels reduces the frequency of irrigation, it also significantly reduces the workforce required for irrigation operations. It has been observed that crop yield (Figure 6) is increased with parsley seeds, which sprout in a shorter time in the soil to which hydrogen is added. The reason of this results is by keeping the environment always moist and it increases soil porosity. It improves the soil structure and prevents erosion. Hydrogel saves water and fertilizer consumptions approximately to 50-70%. Hydrogels retain not only water but also fertilizers, releasing them slowly. This allows for more effective use of fertilizers and reduces the frequency of fertilization processes. Less fertilization also reduces labor and material use, resulting in cost savings. Thus, watering and fertilization reduces labor costs. In extremely hot and arid climatic conditions. Hydrogels regularly meet the water needs of plants in hot and arid climates, allowing plants to survive and thrive with less

maintenance. It minimizes the need for labor by reducing the need for continuous maintenance and irrigation, especially in extreme temperature conditions. It ensures the development of plants. It increases crop yield and plant quality. Hydrogel up to 35°C, it prevents the soil from freezing as it lasts until it lasts.

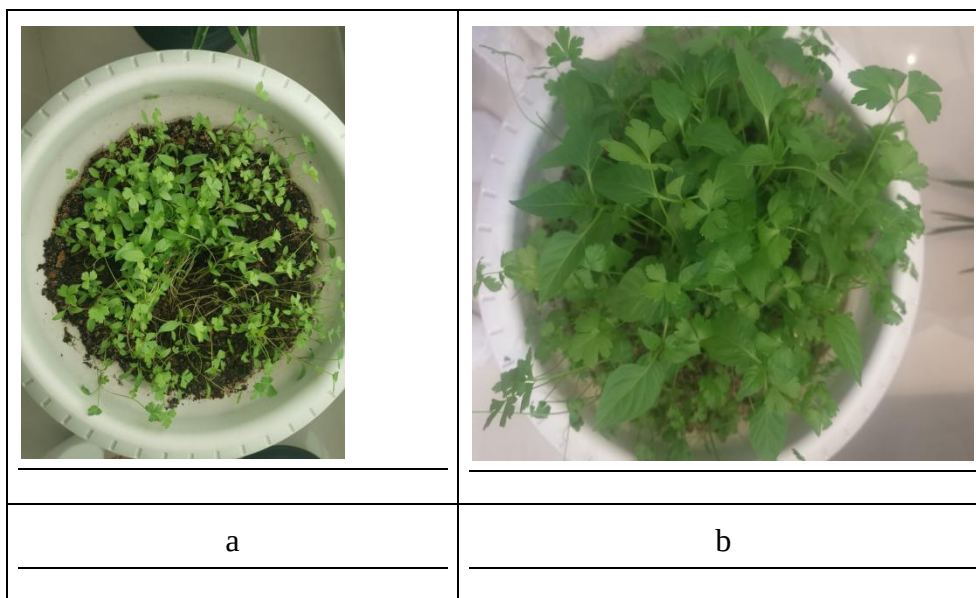


Figure 7. Thirteenth day plant growth (a. without hydrogen b. with hydrogen)

Instead of traditional methods, innovative hydrogel materials are used in agriculture. Traditional farming methods include techniques that have been used for many years. When traditional methods are applied, pesticides, fertilizers and irrigation cause evaporation and decomposition due to their polymeric structure. These methods often carry environmental risks; for example, the pesticides used evaporate or decompose due to their polymeric nature. This leads to the fact that the plant does not get enough of the active substances. In addition, negative effects such as waste of water and chemicals, deterioration of soil quality and harmful effects on the environment may occur in traditional agriculture. Innovative agricultural practices, on the other hand, focus on minimizing these problems. Hydrogel materials offer a revolutionary solution in this context. Hydrogels release water and active substances in a controlled manner, ensuring that the plant has constant access to the nutrients it needs. This minimizes the evaporation and decomposition problems encountered in conventional methods. PANs are one of the members of the family of smart hydrogels, hence they can be potentially employed in separation science and technology, particularly bioseparation. As a result, the plant cannot get the active ingredient it needs. With the use of hydrogel (Figure 7), the release of active substances is controlled and losses are minimized.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

In this study, the effect of hydrogel use on plant production was examined. This study covering a wide range from hydrogel's water holding capacity to plant growth, soil quality to irrigation management, economic and environmental factors has been carried out. As a result, the following results were obtained.

It has been observed that the use of hydrogel has a positive effect on the plant in terms of early development, quality and yield.

The results of this study are thought to be helpful for farmers, sapling growers, researchers and academics who follow the cultivation and development of plants that need more water. Farmers can change their irrigation strategies and make water consumption more efficient. Sapling growers can obtain healthier plants by determining more accurate water amounts in the early development processes of plants. Researchers and academics, on the other hand, can use these results to study the development of plants that need more water. They can work on new irrigation methods or plant species. Thus, more information about the importance of water management in agricultural production processes will be obtained. Thus, more information about the importance of water management in agricultural production processes will be obtained.

Since hydrogels can trap several times their weight in water, they meet the water needs of plants for a longer period of time and contribute to reducing the frequency of irrigation. Hydrogels increase the water holding capacity of the soil and provide plants with controlled access to water. This supports the healthy growth of plants even in dry periods and increases water efficiency in agricultural production.

In regions where water resources are limited, the need for water is significantly reduced with the use of hydrogels and supports sustainable agriculture. In agriculture, innovative agricultural practices such as hydrogels ensure food security and protect agricultural ecosystems. In addition, it helps to protect natural resources by increasing environmental sustainability by saving water. Furthermore, this type of water management practice helps farmers adopt a more sustainable and efficient method of farming.

Hydrogels provide access to the water needs of the plant by releasing water in a controlled manner into the soil where the plant grows. Water, air and sun so that the plants can develop well from the moment of planting rays. As a limiting factor of any of them its presence negatively affects growth. In cases where the air and sun rays are stable, the controlled release of the water requirement with hydrogel provides the growth that the plant needs.

It increases productivity by reducing the water stress of plants during the drought period caused by decreasing water resources. By keeping water stress to a minimum, plants are able to perform basic growth processes such as photosynthesis and nutrient uptake more effectively. It leads to an increase in product quality and efficiency.

Due to the structure of the hydrogel, soil aeration is increased and a more fertile environment is prepared for plant growth. The increase in the amount of oxygen required for the development of the plant is a critical detail for the development of the plant root. The root, which develops in a well-aerated soil, can move deeper into the soil. This helps to keep the loss of soil by erosion to a minimum

However, the use of hydrogel material in large agricultural areas and its function by deteriorating its chemical structure over time. The long-term use of hydrogel structure in agricultural applications can also have negative effects on ecosystem balance. However, in sustainable agricultural areas, the correct use of the hydrogel, its appropriate formulations and regular evaluations should be absolute. Thus, the benefits of the hydrogel can be maximized, while the possible negative effects can also be minimized.

5. FOR FUTURE STUDIES

The following suggestions may guide future studies in order to expand the use of hydrogels more effectively in agriculture and to increase their potential benefits. In order to increase the knowledge gained in the study, it is extremely important to offer suggestions for all those working in the agricultural sector who will conduct research or work on this subject. Recommendations and emphasis on future research encourage further and detailed research based on the results of the current study.

The development of different types of hydrogels for different plant species can provide solutions suitable for the water and nutrient needs of each plant. Research on environmentally friendly and biodegradable hydrogels contributes to reducing the negative effects on the ecosystem.

Development of different plant species in the hydrogel conditions can be compared in the same growing environment. This type of study can contribute to the optimization of agricultural strategies by revealing which plants are more productive with hydrogels in agricultural production.

Better results can be achieved by integrating the use of hydrogel with water-saving methods such as drip irrigation. This integration enables not only more efficient use of water but also support healthy growth of plants under less stress.

It may be possible to focus on the long-term effects of hydrogel on soil health and plant development, assessing the sustainability of innovative material such as hydrogel. Hidrojelin uzun vadeli etkilerinin toprak sağlığı ve bitki gelişimi üzerindeki rolünü incelemek, bu yenilikçi malzemenin tarımsal sürdürülebilirlik açısından ne kadar faydalı olduğunu değerlendirmek için oldukça önemlidir. Uzun vadeli bir perspektiften hidrojel kullanımını anlamak, hem tarımsal üretim hem de çevresel etkiler açısından derinlemesine analiz gerektirir.

Research can be conducted on the integration of modern technologies such as sensor technologies and data analytics with hydrogel applications. By developing new agricultural methods and systems in which hydrogel can be used, more innovative and technological solutions can be offered in plant production.

6. REFERENCES

- [1] Efe, B., Possibilities of Using Some Water Retaining Polymers in Grass Areas. Ankara University, Institute of Science and Technology, Master's Thesis, Ankara, 60s; 2010.
- [2] Erşen Dudu, T., Preparation of Composite Hydrogel Materials for Use in Agricultural Applications, Supervisor: Dr. Vahit Aktaş, Van Yüzüncü Yıl University, Institute of Science and Technology, Department of Chemical Engineering, PhD Thesis, 250s. 2018.
- [3] Rudzinski, W. E., Dave, A. M., Vaishnav, U. H., Kumbar, S. G., Kulkarni, A. R., Aminabhavi, T. M., Hydrogels as Controlled Release Devices in Agriculture. Engineered Monomers and Polymers. 5(1): 39-65, 2002.
- [4] Kaya, T., Possibilities of Using Water Retaining Polymers in Pistachio (*Pistacia Vera L.*) Seedling Production/Use Of Waterproof Polymersin Pistachio (*Pistacia Vera L.*) Seedling Production (Doctoral dissertation). Harran University, Institute of Science and Technology, Department of Horticulture, Master's Thesis, Supervisor: Dr. İzzet Acar, 64 pp; 2018.
- [5] Szwonek, E., Effect of Super Absorbent Gel and Organic-Mineral Fertilizer on Growth, Yield and Quality of Sweet Cherry Trees. International Society for Horticultural Science. 12(2): 415-422, 2012.
- [6] Ibrahima, S., Nawwarb, G. A. M., Sultana, M., Development of Bio-Based Polymeric Hydrogel: Green, Sustainable and Low Cost Plant Fertilizer Packaging Material. Journal of Environmental Chemical Engineering. 4: 203-210, 2016.
- [7] Kemeç, S., Tarımda Su Kıtlığına Yenilikçi Çözüm : 'Hidrojeller'. Iğdır Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 1(1), 1-5, 2023.
- [8] Yazdani, F., Allahdadi, I., and Akbari, G. A., Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max L.*) under drought stress condition. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10(23), 4190–4196, 2007.
- [9] Beyene, A. G., Demirer, G. S., and Landry, M. P., Nanoparticle-Templated Molecular Recognition Platforms for Detection of Biological Analytes. Current Protocols in Chemical Biology, 8(3), 197– 223, 2016.
- [10] Saraydin, D., Karadag, E. and Guven, O., Acrylamide/Maleic Acid Hydrogels. Advanced Polymer Technology. 6: 719-726, 1995.
- [11] Pattanaaik, S. K., Wangchu, L., Singh, B., Hazarika, B. N., Singh, S. M., and Pandey, A. K., Impact of Hydrogel on Water and Nutrient Management of Citrus Reticulata. Research

on Crops. 16(1): 98-103, 2015.

- [12] Fagundes, M. C. P., Camilo, S. D. S., Soares, B. C., Cruz, L. I. B., Moreira, R. A., and Cruz, M. C. E. M., Hydrogel Polymer in Immediate and Early Growth of Citrus Rootstocks. *African Journal of Agricultural Research*. 9(5): 2681-2686, 2014.
 - [13] Makowska, A., Najpełniejszy w Polsce kompleks młodoplejstoczeński (eem vistulian) na dolnym Powiślu i Wzniesieniu Elbląskim. *Przegląd Geologiczny*. 52(9): 887-894, 2004.
 - [14] Swietlik, D., The effect of soil amendment with Viterra hydrogel on the establishment of CV Ruby Red in Newly Planted Grapefruit Trees. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 20(15-16): 1697-1705, 1989.
 - [15] Mikiciuk, G., Mikiciuk, M., And Hadwrot-Paw, M., Influence of superabsorbent polymers on the chemical composition of strawberry and biological activity in the soil. *Folia Horticulturae*, 27(1): 63-69, 2015.
 - [16] Ibrahima, S., Nawwarb, G. A. M., Sultana, M., Development of bio-Based Polymeric Hydrogel: Green, Sustainable And Low Cost Plant Fertilizer Packaging Material. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4: 203-210, 2016.
 - [17] Grabowska, H., Narkiewicz, K., Grabowski, W., Grzegorzczak, M., Gaworska-Krzemińska, A., and Świetlik, D., Ocena masy ciała oraz jej wpływ na wartość ciśnienia tętniczego w opinii licencjatów pielęgniarstwa. Gdańsk: *Problemy Pielęgniarstwa*. 16(4): 331-338, 2008.
-

DEFICIT IRRIGATION EFFECT ON SEED YIELD AND QUALITY OF PEPPER

BELKIS KAPLAN

Selcuk University, kaplanbelks@yahoo.com- ORCID ID:0009-0003-5598-7180

Prof. Dr. BİLAL ACAR

Selcuk University, biacar@selcuk.edu.tr- ORCID ID:0000-0003-2866-2543

Assoc. Prof. Dr. MUSA SEYMEN

Selcuk University, mseymen@selcuk.edu.tr- ORCID ID:0000-0002-2742-137X

ABSTRACT

Drought stress, increasing its effects with climate change, is one of the most important abiotic stress factors adversely affecting growth and development of plants. Although effects of drought stress on plants vary, different managerial strategies are taken to mitigate its negative effects. In pepper, although drought stress effect on yield and quality losses is known, its effects on seed quality are unknown. In this current research, three irrigation regimes were applied to the Burkalem pointed pepper variety: one full irrigation treatment (I_{100}) and two water deficit stress applications (75% of the full irrigation treatment – I_{75} and 50% of full irrigation treatment- I_{50}). In results, both the carotenoid and protein contents increased as water stress increased and the lowest carotenoid and protein content were obtained from I_{100} treatment. Deficit irrigation applied to pepper had statistically significant effects on yield and yield components depending on severity of water stress: while the highest fruit yield per plant was obtained from full irrigation as 191 g, significant decreases in yield occurred as water constraint increased. Water deficiency application to pepper had statistically significant effects on seed quality: while 2.99 g of seeds per plant were obtained from full irrigation, and 0.20 g of seeds was obtained from I_{50} subject. The maximum 1000-seed weights were obtained from the irrigation treatments namely full irrigation and 25% deficit irrigation, 3.87 and 3.45 g, respectively. In addition, deficit irrigation significantly restricted seed germination and emergence performance in pepper. As a result, in seed production for pepper seed sector, plants should not be exposed to water deficit conditions due to the resulting remarkable quality losses in seeds.

Keywords: Abiotic stress, *Capsicum annum*, climate change, photosynthesis activity, seed quality.

1. INTRODUCTION

Climate change affects water resources of regions by influencing time, duration and intensity of precipitation. As known severe agricultural droughts has caused large evaporation occurrence resulting to a decline in soil moisture status [1]. This is particularly important in the farming of cultivated plants using huge amount of water for their development, and water deficiency in general has resulted yield losses. There is an urgent need to take serious attempts to increase drought tolerance of plants [2-3].

Drought stress is the most important among abiotic factors affecting growth and development of crops, and it has the greatest share with around 26% among stress factors in arable areas worldwide. Plants respond to abiotic stress conditions such as drought, heat, salinity and excessive rainfall with physiological and metabolic changes in a way that minimizes damage to their growth and development [4].

However, although those changes occurring under abiotic stress conditions have been studied for many years, their mechanisms are not completely understood. New attempts should be developed by examining studies aimed at understanding plant drought stress response and increasing the stress tolerance of agriculturally important plants.

In order to explain mechanisms of stress factors, it is important to determine physiological reactions of plant under different stress sources, their duration and types of effects, tolerance mechanisms, functions at cell and gene level, response processes, and duration and permanence of physiological damage to plant. To combat drought which is expected to increase due to the climate change, protecting and increasing existing food production is very important role to play to ensure continuity of quality of life [5].

There are significant differences in terms of physiological and metabolic changes among plant species and varieties, and even their organs, in terms of being affected by drought stress [6]. The extent of being affected by drought occurring at different intensities depending on genotype, depends on metabolic changes, that is physiological and biochemical responses, that genotype develops under stress conditions [7].

One of the early effects of water deficiency is a decrease in vegetative growth due to a reduce in the rate of photosynthesis. Stem growth and particularly leaf growth is more sensitive to water deficiency by comparison to root growth [8]. In the early cycles of drought conditions, plant slows down its trunk elongation and triggers root development to reach more water [9]. There are three different strategies to avoid or to mitigate the negative effects of drought stress in plant physiology: adaptation, drought avoidance and drought tolerance. Adaptation refers to capacity to withstand drought processes; avoidance is defined as strategies preventing decrease in water potential in protoplasm from lasting long enough to cause harm, and tolerance is described as further drying without damaging protoplasm [10-11]. Maintenance water balance and continuing cell metabolic activities, albeit limited, provide short-term resilience to plants in drought conditions. In case of stress conditions continue for a longer time, osmolyte accumulation is insufficient to balance turgor loss due to water deficiency [9]. Reducing reactive oxygen species formed by drought stress and preventing their accumulation is another factor in plants' ability to combat deficit water stress [9]. Because due to the decrease in photosynthesis rate due to drought stress, formation of reactive oxygen derivatives such as singlet oxygen, superoxide anion and hydrogen peroxide which are a natural by-product of cell metabolism in plant and play an important role in signal transmission mechanism, is among adaptation mechanism of plants to drought [12-14]. In plant production, seed is the most important key factor to obtain maximal yield per unit area and to increase the fruit quality. Nowadays, seed has become the most important

input in vegetable production, and has become a material with high economic value, using many innovative technologies, providing significant profitability to its producers. For these reasons, necessary attention should be paid for keeping and maintaining high seed quality and preserving germination ability [15].

The seed sector, forming basis of the vegetable sector in Turkey, has developed greatly in last 25 years and important studies have been performed by private sectors to increase domestic seed production on the one hand and to develop domestic seed sector on the other. In Turkish seed supply system, government seed organizations are currently engaged in limited production and distribution activities focusing on open-pollinated plants such as wheat, barley and some forage crops. In vegetable seeds, many companies have developed and are trying to develop new hybrid varieties. As for pepper, it is seen that many local varieties have notable production potential in today's conditions and seed production is conducted by companies.

Pepper is grown as an economic species in Turkey as well as around the world. That's why the pepper seed market has an important value. Drought negatively affects the yield and quality of pepper fruit and also causes serious problems in seed yield and quality in farmlands where seed production made. The agro-morphological, physiological, biochemical and molecular effects of drought stress on pepper have been important issue of scientific studies. On the other hand, there are not many studies about the effects of drought stress on seed quality as well as seed yield. The current study, therefore, aimed to determine the effects of water deficit stress on physiological and biochemical changes in yield component in pepper as well as its effects on seed yield and quality.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Experimental area

In present research, pot studies were done in polycarbonate greenhouses belonging to the Konya Seedling Company at Konya province. The seed quality works were performed in Climate Chambers in Agricultural Faculty, Selçuk University. In potting study, the peat-perlite-soil mixture was arranged equally and filled into the pots having capacity of 10 kg. During the experimental cycle, special care was taken to ensure that inside temperature in greenhouse was 25 ± 5 °C and the relative humidity as an average was 70%.

2.2. Plant materials and planting and irrigation processes

Burkalem pepper, standard variety having commercial value in market and does not cause any problems in seed germination, belonging to Bursa Seed Company was used as plant material. That variety is known as a productive variety with a thin pointed fruit suitable for fresh consumption and a fruit length of around 25 cm.

The study, established in accordance of randomized plots trial design with three replications, consisted of three irrigation regimes: one full irrigation treatment (I_{100}), and two water deficit treatments (75% of I_{100} - I_{75} and 50% of I_{100} - I_{50}). In study, three pots were kept in each replication and the seedlings were planted on May 30, 2024.

The amount of irrigation water applied to the pots was determined according to the gravimetric soil moisture measurement technique as suggested by [16]. For this purpose, when the available water capacity, AWC, of control I₁₀₀ subject, which was selected as the witness treatment dropped to 40-45%, irrigation was done and the soil moisture was reached up to the field capacity, FC, in each irrigation event. Immediately just after planting seedlings, an equal amount of irrigation water was applied to whole pots and the soil moisture was increased to FC. On June 23, 2024, first deficit irrigation practices started and water amount calculated according to the treatments was applied. Some cultural practices such as fertilization, disease and pest control were done regularly throughout the experimental cycles. Harvest was performed four times during the vegetation cycle, and necessary measurements and observations were made.

2.3. Measurement of photosynthetic activity

Those measurements were performed at on a clear sky when photosynthetic activity reached its peak, between 9:00 a.m. and 11:00 a.m. For the fluorescence measurements of actual photosystem II (PSII) efficiency, stomatal conductance (gs), and leaf temperature (T Leaf), a portable LI-6000 fluorimeter (LI-COR Inc., USA) device was used [17].

2.4. Analysis of leaf pigments

After applying deficit irrigation to pepper plants, six leaves taken from the shoot tips of each plant per plot were used for the analysis of leaf pigments. Leaf samples were weighed (0.2 g) and then ground in 10 mL of acetone. The ground samples were then subjected to centrifugation, and thereafter, the absorbance values of the resulting supernatant were measured at 663 and 470 nm by using a spectrophotometer (Shimadzu-UV-6300 PC, Shimadzu Corporation Co., Ltd., Japan) for determination contents of chlorophyll a and chlorophyll b [18]. In calculation carotenoid content, the Jaspars' following formula suggested by Witham et al. [19] was used:

$$(Car = ((1000 \times Abs_{470}) - (2.27 \times Chl\ a) - (81.4 \times Chl\ b)) / 227)$$

2.5. Analysis of hydrogen peroxide, malondialdehyde (MDA) and protein content

The hydrogen peroxide concentration was measured by superficial residue used from the same mixture and calculated by using a standard chart [20]. The MDA content was determined by using leaves had completed their growth before the pepper harvest by measuring 2-thiobarbituric acid (TBAA) and lipid peroxidation using the method developed by Heath and Packer [21]. For this purpose, 0.5 g of pepper leaf samples were collected and protein analysis was performed by using methodology derived by Bradford [22].

2.6. Plant and fruit measurements

Fruits in plots were harvested separately and they were weighted and consequently yield per plant was obtained. By counting fruit number in plot, number of fruits, and average fruit weight were determined as an average of ten fruit weight from each plot. Fruit width and length in the

plot were determined by using a caliper and meter, respectively. Plant height during the harvest cycle was measured by using meter.

2.7. Seed quality parameters

After all fruits in plot were dried in the shade, their seeds were removed from the fruits and weighted and seed yield per plant was determined. The seeds were counted and weight of one thousand seeds were found. From each plot 50 seeds were germinated in 4 replicates at 25 °C for 14 day-duration according to ISTA procedures. On the 14th day, seedlings with normal and abnormal development were observed and germination percentage (%) was calculated by ISTA [23].

2.8. Data analysis

The data obtained from pepper for different irrigation regimes were statistically assessed with One-Way Analysis of Variance (ANOVA) in JMP-14 statistical program, and the significant differences between treatments were interpreted by dividing them into groups according to 5% and 1% significant levels.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Effects of water deficit on physiological parameters

In result of the statistical analysis, while water deficit applied to pepper did not make a significant difference on actual photosystem II efficiency (PSII) and stoma conductance (gs), it did create significant differences on leaf temperature (Figure 1). While gs was $0.011 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ under full irrigation conditions, $0.013 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ was obtained from I₅₀ application (Figure 1A). In addition, the maximum PSII was obtained from full irrigation as 0.78 (Figure 1B). The water deficit stress significantly increased the leaf temperature in pepper for examples 27.33 °C for full irrigation and 28.36 °C for I₅₀ water stress treatment with maximum value (Figure 1C).

Plants try to prevent water loss from plant tissues by closing their stoma under water deficit stress or high temperature conditions. In such way, plants not only develop a defense mechanism against stress, but also photosynthesis is negatively affected. In a study conducted on lettuce plant, it was stated that while gs and PSII were not affected in applications where water stress was mild, there were significant reductions in applications where deficit water stress was intense [24]. Similarly, in another work conducted on cabbage, deficit water stress significantly reduced gs and PSII, and leaf temperature [5]. In accordance of those studies, it is seen that photosynthesis activity is adversely affected and leaf temperature increases notably as the duration and severity of water deficit stress increases, although it varies according to species and varieties.

3.2. Water deficit effect on biochemical components

While water restriction applied to pepper did not reveal a significant change in chlorophyll a content in leaves, it resulted significant differences in chlorophyll b, carotenoid, H_2O_2 , MDA and protein content (Figure 2). In examined such figure, it was seen that chlorophyll a content was found as between 30.96-32.17 $mg\ g^{-1}$ (Figure 2 A). Chlorophyll b contents were measured as 30.41 and 28.19 $mg\ g^{-1}$ from full and I_{50} irrigation regimes, respectively, and they were statistically within the same group. The 25% water deficiency caused a decrease in chlorophyll b content and 21.10 $mg\ g^{-1}$ chlorophyll b content was found from such irrigation level (Figure 2 B). In examined the carotenoid contents, they increased under water deficiency stress conditions. The maximal carotenoid content was determined from I_{75} and I_{50} irrigation regimes, having 7.62 and 7.19 $mg\ g^{-1}$ carotenoid contents, respectively (Figure 2C). H_2O_2 content increased significantly under 50% water deficit conditions. Full irrigation and 25% water deficit irrigation levels were statistically in the same group and had 6.07 and 6.23 $\mu g\ g^{-1}$ H_2O_2 contents, respectively. It had the greatest content having 12.78 $\mu g\ g^{-1}$ H_2O_2 in I_{50} where is high water stress (Figure 2D). MDA contents increased as water deficit stress increased. While the minimum MDA content with 4.85 $nmol\ ml^{-1}$ was measured from full irrigation, the maximum MDA content with 5.45 $nmol\ ml^{-1}$ was determined from the I_{50} water application where the water stress was the highest (Figure 2E). Similar to MDA content, protein contents also increased as water stress increased. While the lowest protein contents were measured from full irrigation application, the highest protein content was obtained from I_{50} water application (Figure 2F).

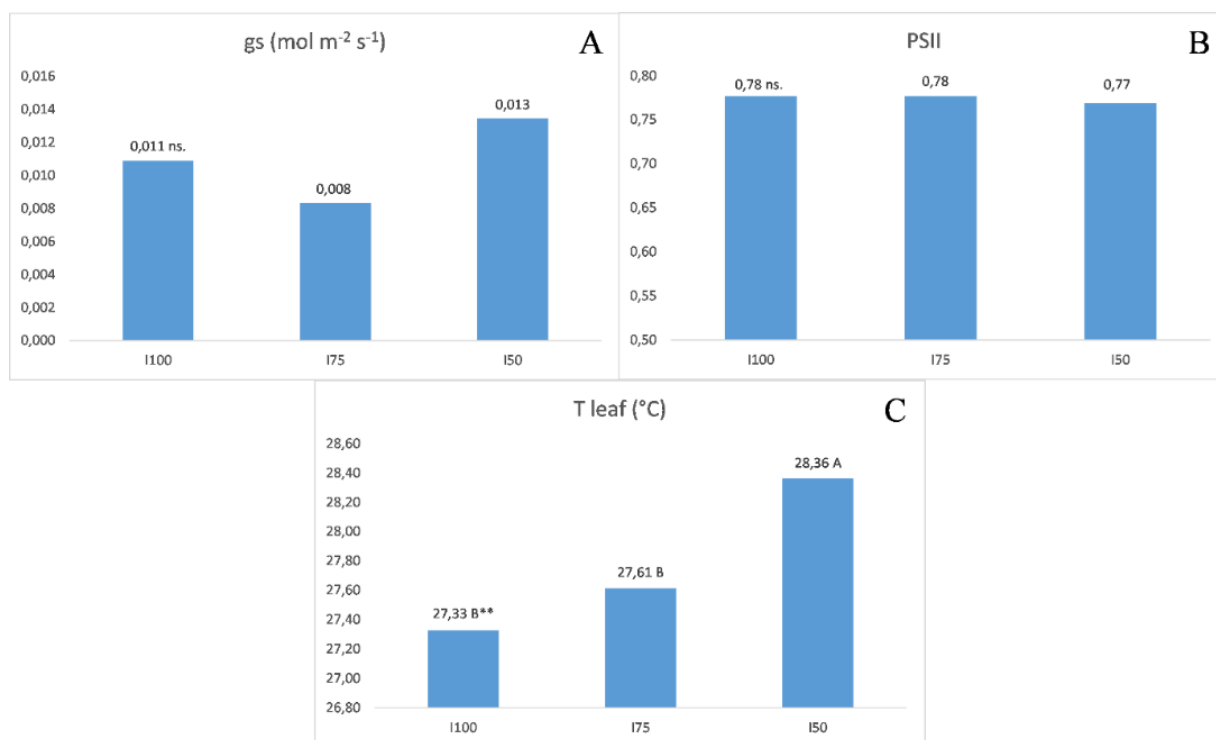


Figure 1. Water deficit effect on some physiological parameters of pepper

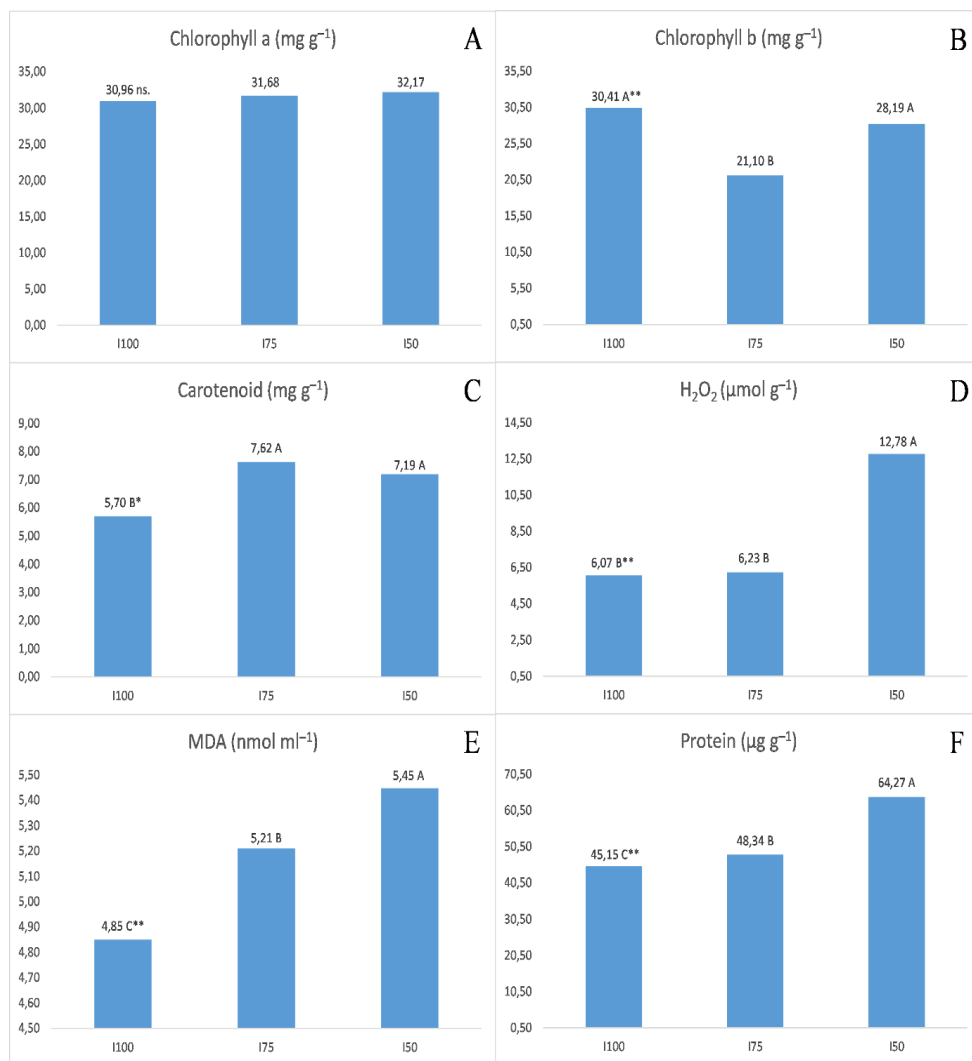


Figure 2. Effect of water deficit on some biochemical contents in pepper

The pigments in plant leaves play an important role in absorbing light required for photosynthesis and using excess energy. Studies have shown that there were found significant changes in pigment content under water deficit conditions [25-27]. In a study relevant to spinach, 50% water deficit stress did not reveal a statistical difference in chlorophyll a, b and carotenoid contents [28]. On the other hand, in a study about cabbage, different amounts of irrigation water caused significant changes in pigment contents and resulted a significant decrease in chlorophyll b content [5]. One of the best-known mechanisms to reduce ROS production under stress conditions is to increase tolerance by dissipating excess energy in chloroplasts via xanthophyll cycle with help of carotenoids [29]. In current study, while chlorophyll a was not affected by stress, chlorophyll b decreased and carotenoid content increased under 25% water deficit condition. The findings obtained are explained by studies carried out. MDA, increases under stress conditions, is an indicator of lipid peroxidation [30]. MDA is the final product of plant cell membrane lipid peroxidation induced by free radicals and reflects level of ROS toxicity through its accumulation [31]. H₂O₂ is known as a toxic compound formed as result of the scavenging of superoxide radicals. High concentrations

adversely affect plant by resulting lipid peroxidation and membrane damage [32]. MDA and H_2O_2 have increased under water stress conditions in accordance of many studies [5, 28]. In our study, water stress application to pepper significantly increased MDA and H_2O_2 contents. Proteins reduce effect of oxidative damage by acting in harmony with enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense systems under stress conditions [33]. For this reason, plants try to avoid negative effects of stress by increasing amount of protein under stress conditions. In a study about spinach, water deficit stress increased protein content [28]. Similarly, in our study, pepper responded to water stress by increasing its protein content.

3.3. Water deficit effect on yield components and plant length

In current study, water stress applied to pepper had statistically significant effects on yield components and plant height (Figure 3). In such figure, while the maximum yield per plant was obtained from full irrigation with 191 g, significant decreases in yield occurred as water constraint increased (Figure 3A). Similarly, water stress negatively affected number of fruit in pepper, and the highest fruit number as 35.50 was obtained from full irrigation (Figure 3B). While the average fruit weight was found as 10.81 g for full irrigation conditions, both water stresses reduced average fruit weight (Figure 3C). Fruit width was not statistically affected from water stress, and a fruit width was measured between 14.93 and 21.37 (Figure 3D). In examined the fruit length, full irrigation and 25% water deficit applications were statistically in same group having fruit lengths of 21.47 and 19.47 cm, respectively. The I_{50} subject with the highest water constraint had the shortest fruit length of 15.93 cm (Figure 3E). While the highest plant height as 61.33 cm was obtained from full irrigation, I_{50} application where plant height shortens as water stress increases and the maximal water deficit stress occurrence had 48.17 plant height (Figure 3F).

When plants expose to water stress, they try to survive by shrinking their vegetative organs to avoid stress [25]. Reductions in vegetative parts also lead to a decrease in yield and yield components. In many studies, water stress has resulted yield and quality losses [34-36]. In our study of pepper, water stress led to significant decreases in yield and yield components depending on severity of water stress.

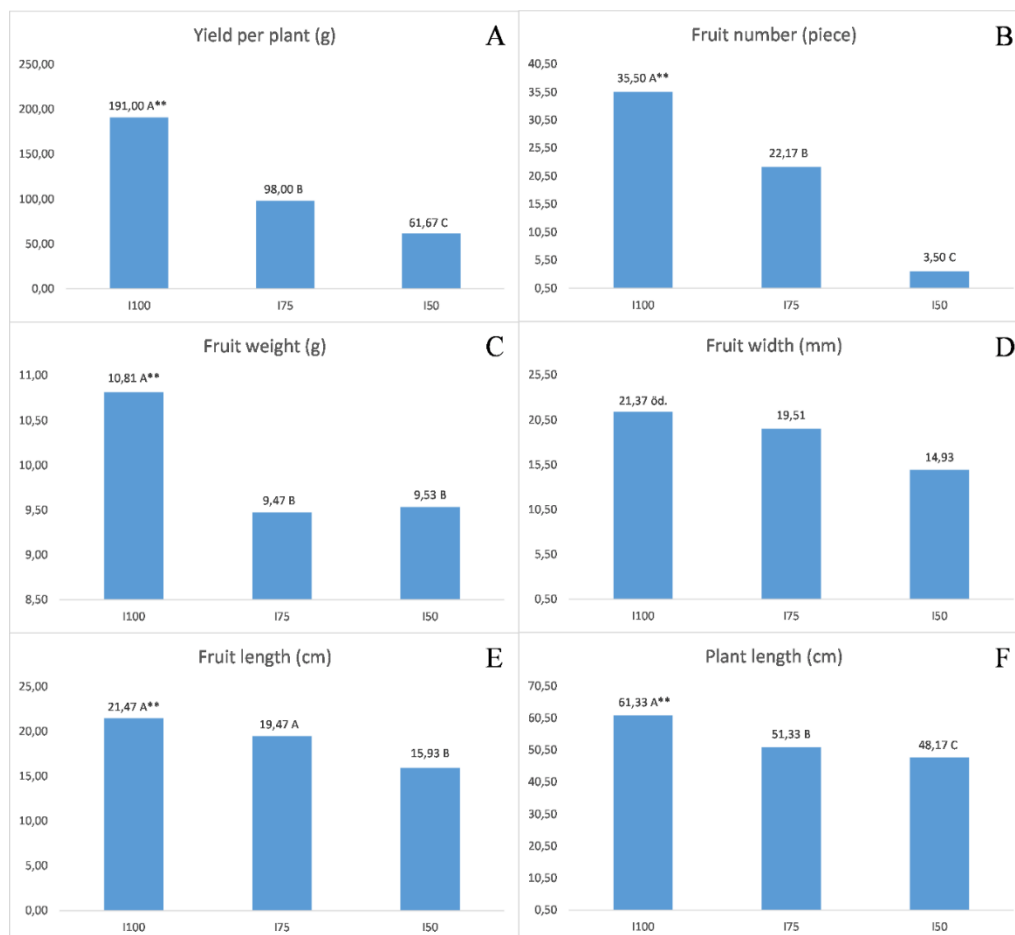


Figure 3. Effect of water deficit applied to pepper on yield components and plant length

3.4. Water deficit effect on seed quality of pepper

Water deficiency application to pepper had statistically significant effects on seed quality (Figure 4). As seen in that figure, while 2.99 g of seeds per plant were obtained from full irrigation, seed yield decreased dramatically with water stress and 0.20 g seed was found from I₅₀ application where the least seed weight was obtained (Figure 4A). The maximum 1000-seed weights were obtained from the subjects namely full irrigation and 25% deficit irrigation, 3.87 and 3.45 g, respectively, and they were statistically within the same group. The minimum 1000-seed weight was found as 2.28 g at I₅₀ water stress application (Figure 4B). Water deficit stress significantly restricted seed germination performance in pepper. While 59.33% seed germination was observed in full irrigation conditions, it decreased to 52% for I₇₅ and to 5% for I₅₀ applications (Figure 4C). Similarly, water deficit stress had also significant negative effect on seed emergence. While 39.67% seed emergence was observed under I₁₀₀ treatment, 25% water deficiency reduced it to 22.67%, and 50% water stress had a completely negative effect on seed emergence (Figure 4D).

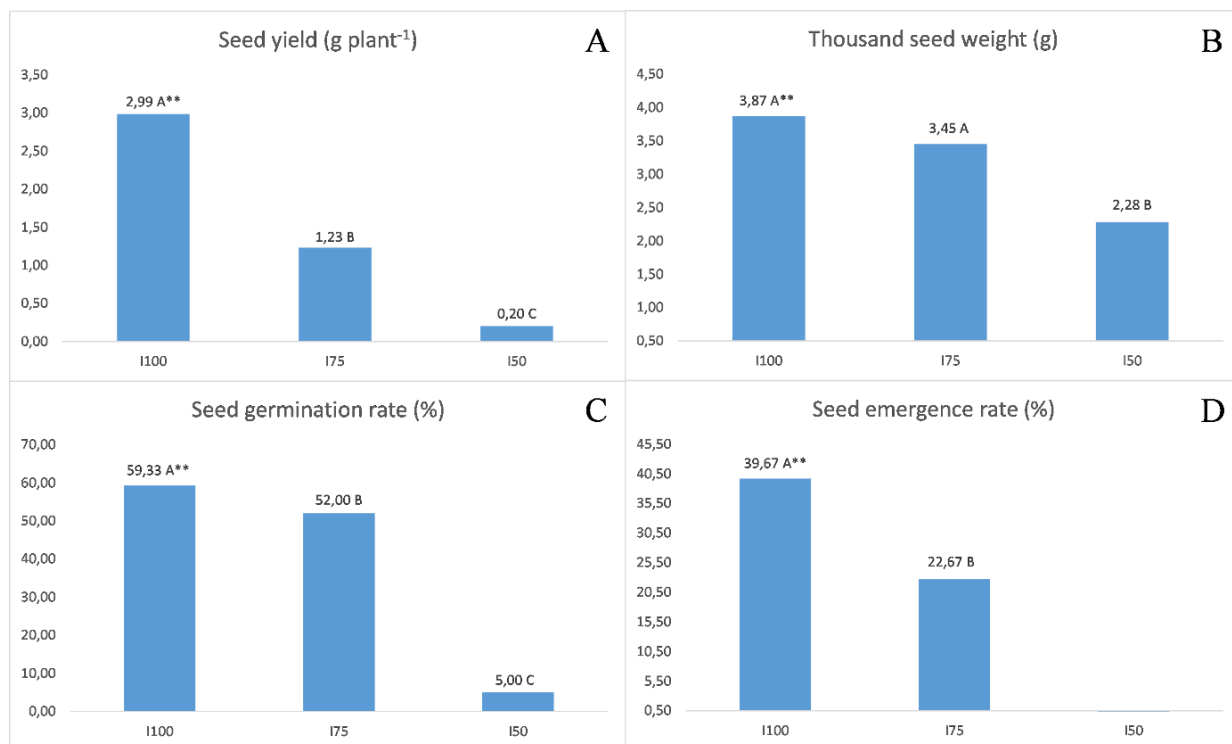


Figure 4. Effect of water deficit on seed quality parameters in pepper

The decrease in fruit quality as result of water deficit stress indirectly affects the seed quality negatively. As a matter of fact, in a study at snack squash, 50% deficit irrigation resulted significant losses in both the seed yield and 1000-seed weight [34]. Similarly, in a research on soybeans, water deficit stress led to significant losses in seed yield and 1000-seed weight [37]. It has been reported that water deficiency stress applied to soybeans resulted significant losses in seed germination and viability [38]. Similarly, in a study conducted on maize, drought stress caused significant seed quality losses [39]. The findings of current study also clearly showed that stress resulted from water deficit significantly restricted seed germination as well as emergence performance in pepper.

CONCLUSION

It has been observed that water restriction applied to pepper had significant effects on some agro-morphological, physiological, biochemical and seed quality. While deficit irrigation increased leaf temperature, carotenoid content, H₂O₂, MDA, and protein content, it resulted significant losses in chlorophyll b, agro-morphological parameters and seed quality. As a result of the present study, water stress caused significant losses in seed germination and emergence capacity, and water limitation was an important limiting factor in pepper seed production. Pepper seeds are among the vegetable species having germination and emergence problems, and it is a fact that adding water stress will cause seed loss as well as legal problems.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was produced from Master thesis of Belkıs Kaplan.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors have not declared any conflict of interests.

REFERENCES

- [1] Adams, R.M., Peck, D.E. (2008). Effects of climate change on water resources. *Choices*, 23(1), 12-14.
- [2] Seymen, M., Yavuz, D., Can, H., Kıymacı, G., Türkmen, Ö., Paksoy, M., ... Kurtar, E. S. (2024). Molecular and physiological responses to exogenously applied melatonin in spinach under deficit irrigation conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-17.
- [3] Yavuz, D., Gökmen Yılmaz, F., Seymen, M., Korkmaz, A., Baştaş, K. K. (2024a). Effects of Newly Isolated Rhizobacteria on the Physiological Characteristics and Nutrient Uptake of Watermelon Plants Grafted onto Different Rootstocks Under Water Stress. *Journal of Crop Health*, 76(4), 865-881.
- [4] Kalefetoğlu, T., Ekmekçi, Y. (2005). The effects of drought on plants and tolerance mechanisms. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (4): 723-740.
- [5] Seymen, M., Yavuz, D., Eroğlu, S., Arı, B. Ç., Tanrıverdi, Ö. B., Atakul, Z., Issı, N. (2023). Effects of different levels of water salinity on plant growth, biochemical content, and photosynthetic activity in cabbage seedling under water-deficit conditions. *Gesunde Pflanzen*, 75(4), 871-884.
- [6] Belkhodja, R. Morales, F., Abadia, A., Gomez-Aparisi, J. (1994). Chlorophyll fluorescence as a possible tool for salinity tolerance screening in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Plant Physiology*, 104: 667- 673.
- [7] Kayabaşı, S., *Kuraklık stresinde yetiştirilen soyada (Glycine max L.) bazı fizyolojik parametreler ile prolin birikiminin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 2011 (In Turkish).
- [8] Sağlam, A., *Ağır kuraklık stresi geçirmiş Ctenanthe setosa bitkisinin yeni kuraklık koşullarına adaptasyon yeteneğinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2004 (In Turkish).
- [9] Öztürk, N.Z. (2015). Bitkilerin kuraklık stresine tepkilerinde bilinenler ve yeni yaklaşımlar. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(5): 307-315 (In Turkish).
- [10] Gürel, A., Avcıoğlu, R. *Bitkilerde Abiyotik Stres Faktörlerine Dayanıklılık Mekanizmaları*. pp.288-326. In: Özcan, S., Gürel, E. & Babaoğlu, M. (Eds.), *Bitki Biyoteknolojisi, Genetik Mühendisliği, S.Ü. Vakfı Yayınları*, İzmir, 2001 (In Turkish).
- [11] Mundree, S.G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C.V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J.M., Thomson, J.A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology*, 1:23-38.

- [12] Anjum, S.A., Xie, X., Wang, L., Saleem, M.F., Man, C., Lei, W. (2011). Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. *African Journal of Agricultural Research*, 6: 2026-2032.
- [13] Bhargava, S., Sawant, K. (2013). Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*, 132: 21-32.
- [14] Cabello, J.V., Lodeyro, A.F., Zurbriggen, M. (2014). Novel perspectives for the engineering of abiotic stress tolerance in plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 26: 62-70.
- [15] Mavi, K., *Kabakgil türlerinde tohum gücü testlerinin kullanımı ve stres koşullarında çıkış ile ilişkileri*, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009 (In Turkish).
- [16] Yavuz, N., Seymen, M., Kal, Ü., Yavuz, D., Kal, S., Kurtar, E. S., ... Süheri, S. (2024b). Interactive effects of rootstock and rhizobacteria on fruit yield, evapotranspiration, and the crop water stress index (CWSI) in watermelon under water deficit stress. *Plant and Soil*, 1-25.
- [17] Liu, M., Li, M., Liu, K., & Sui, N. (2015). Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. *Journal of Agricultural Science*, 7(5), 231.
- [18] Lichtenthaler, H. K., Buschmann, C. (2001). Chlorophylls and carotenoids: Measurement and characterization by UV-VIS spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*, 1(1), F4-3.
- [19] Witham, F. H., Blaydes, D. F., Devlin, R. M., *Experiments in plant physiology*. Van Nostrand Reinhold Compan, New York pp. 55-56, 1971.
- [20] Velikova, V., Yordanov, I., Edreva, A. J. P. S. (2000). Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. *Plant science*, 151(1), 59-66.
- [21] Heath, R. L., Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of biochemistry and biophysics*, 125(1), 189-198.
- [22] Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72(1-2), 248-254.
- [23] ISTA., International Seed Testing Association, International Rules for Seed Testing. *Seed Science and Technology*, 21, Supplement, 1996.
- [24] Yavuz, D., Seymen, M., Kal, Ü., Atakul, Z., Tanrıverdi, Ö. B., Türkmen, Ö., Yavuz, N. (2023). Agronomic and physio-biochemical responses of lettuce to exogenous sodium nitroprusside (SNP) applied under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 277, 108127.
- [25] Seymen, M. (2021). Comparative analysis of the relationship between morphological, physiological, and biochemical properties in spinach (*Spinacea oleracea* L.) under deficit irrigation conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 45(1), 55-67.

- [26] Yavuz, D., Kılıç, E., Seymen, M., Dal, Y., Kayak, N., Kal, Ü., Yavuz, N. (2022). The effect of irrigation water salinity on the morph-physiological and biochemical properties of spinach under deficit irrigation conditions. *Scientia Horticulturae*, 304, 111272.
- [27] Kurtar, E. S., Seymen, M., Yavuz, D., Acar, B., Metin, D., Atakul, Z., Kal, Ü. (2024). Morphophysiological and biochemical investigation of the potential of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) rootstock under different irrigation regimes. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 1-15.
- [28] Kayak, N., Kal, Ü., Dal, Y., Yavuz, D., Seymen, M. (2023). Do proline and glycine betaine mitigate the adverse effects of water stress in spinach?. *Gesunde Pflanzen*, 75(1), 97-113.
- [29] Latowski, D., Kuczyńska, P., Strzałka, K. (2011). Xanthophyll cycle—a mechanism protecting plants against oxidative stress. *Redox Report*, 16(2), 78-90.
- [30] Riasat, M., Kiani, S., Saed-Mouchehsi, A., Pessarakli, M. (2019). Oxidant related biochemical traits are significant indices in triticale grain yield under drought stress condition. *Journal of Plant Nutrition*, 42(2), 111-126.
- [31] Savvides, A., Ali, S., Tester, M., Fotopoulos, V. (2016). Chemical priming of plants against multiple abiotic stresses: mission possible?. *Trends in plant science*, 21(4), 329-340.
- [32] Nayar H., Kaushal SK (2002) Chilling induced oxidative stress in germinating wheat grains as affected by water stress and calcium. *Biol. Plant.*, 45:601-604.
- [33] Hanif, S., Saleem, M. F., Sarwar, M., Irshad, M., Shakoor, A., Wahid, M. A., Khan, H. Z. (2021). Biochemically triggered heat and drought stress tolerance in rice by proline application. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40(1), 305-312.
- [34] Seymen, M., Yavuz, D., Dursun, A., Kurtar, E. S., Türkmen, Ö. (2019). Identification of drought-tolerant pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) genotypes associated with certain fruit characteristics, seed yield, and quality. *Agricultural Water Management*, 221, 150-159.
- [35] Yavuz, D., Seymen, M., Süheri, S., Yavuz, N., Türkmen, Ö., Kurtar, E. S. (2020). How do rootstocks of citron watermelon (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) affect the yield and quality of watermelon under deficit irrigation?. *Agricultural Water Management*, 241, 106351.
- [36] Yavuz, D., Seymen, M., Yavuz, N., Çoklar, H., Ercan, M. (2021). Effects of water stress applied at various phenological stages on yield, quality, and water use efficiency of melon. *Agricultural Water Management*, 246, 106673.
- [37] Szilagy, L. (2003). Influence of drought on seed yield components in common bean. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 2003(spl issue), 320-330.
- [38] Dornbos Jr, D. L., Mullen, R. E., Shibles, R. E. (1989). Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. *Crop Science*, 29(2), 476-480.
- [39] Liu, M., Li, M., Liu, K., Sui, N. (2015). Effects of drought stress on seed germination and seedling growth of different maize varieties. *Journal of Agricultural Science*, 7(5), 231.

TÜRKİYE ORMANCILIĞINDA YABANCI BİR TÜR: YALANCI AKASYA

Dr. Öğrencisi, Tuğçe Baloğlu ERTAŞ

¹Isparta Uygulamalı Üniversite, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta, Türkiye

tugcebaloglu32@gmail.com

ORCID ID: 0000-0003-2019-6218

Prof. Dr. Nebi BİLİR

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Isparta, Türkiye

nebibilir@isparta.edu.tr

ORCID ID: 0000-0001-9911-4304

ÖZET

Bu çalışma, Dünya’da geniş yayılım alanına sahip, ve ülkemiz ormancılığında önemli ekolojik ve ekonomik değere sahip yabancı/egzotik Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia L.*) üzerinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya konu Yalancı Akasya, ülkemizde geniş ekonomik, ekolojik kullanım alanına sahiptir ve ağaçlandırma uygulamalarında önde gelen yabancı türlerden biridir. Kumul alanlarda, erozyonu maruz kalmış sahaların rehabilitasyonunda, bulunduğu alanlarda toprağı azotça zenginleştirip iyileştirmesi, yol kenarı ve orman içi açıklıklarda, tel direği, kayık gibi birçok alanlarda kullanımına yer verilmektedir. Mevcut ormanlardan sürdürülebilir şekilde faydalanmanın sağlanması amacıyla, insanların doğal kaynaklara olan talebinin artması, çalışmaya konu Yalancı Akasya türünün sahip olduğu geniş kullanım alanı, ekolojik ve ekonomik önemi nedeniyle, türe olan talebi de artırmaktadır. Türün ağaçlandırmalarda kullanılan tescilli tek tohum kaynağı ise Isparta yöresinde yer alan 61.9 hektar büyüklüğündeki tohum meşceresidir. Bu çalışma kapsamında, türün ekonomik önemi ve ekolojik değeri ilgili literatür ışığında irdelenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Robinia pseudoacacia*, ağaçlandırma, ekoloji, erozyon, ıslah.

AN EGZOTIC SPECIES IN TURKISH FORESTRY: BLACK LOCUST

ABSTRACT

This study was carried out on the Black locust (*Robinia pseudoacacia L.*) species, which has a wide distribution area in the world and Turkey and has an important ecological and economic value in our forestry as an egzotic species. The species in question has used widely in Türkiye

by afforestation practices. It is used in many areas such as rehabilitation of sand dunes, erosion-exposed areas, enriching and improving the soil with nitrogen in the areas where it is located, roadside and forest clearings, wire poles, boats. In order to ensure sustainable utilization of existing forests, the increase in people's demand for natural resources, the wide usage area of the False Acacia species in question, it's ecological and economic importance, and the demand for the species and its cultivation practices are also increasing. The species has a seed source, used in afforestation practices, established at Isparta by 61.9 ha. Within the scope of this study, the economic importance and ecological value of the species were tried to be examined in the light of the relevant literature.

Keywords: afforestation, breeding, ecology, erosion, *Robinia pseudoacacia*.

1.GİRİŞ

Günümüzde hızla artan insan nüfusu sebebiyle tüketim ve doğal kaynaklara olan ihtiyaçlar da çeşitlenerek artmaktadır. Bu talep ve ihtiyaçların giderilmesi hususunda, ormanların doğal yapısının ve biyolojik çeşitliliğin korunabilmesi, ormancılık faaliyetlerinin ana unsuru olan sürdürülebilir orman yönetiminin sağlanması gerekmektedir. Türkiye 78 milyon hektarlık alanıyla zengin bir biyo-çeşitliliğe sahiptir. Bu zenginlik içerisinde bulunan 23,2 milyon ha ormanlık alanlar, ülke alanının %29,8' ünü kaplamaktadır. Türkiye ormanlarının %41'i boşluklu kapalı orman alanı olup verimsiz orman vasfındadır (OGM,2024). Gerek bu verimsiz orman alanı ve gerekse, erozyon, orman yangını gibi zararlar önemli sorun haline gelmiştir. Orman alanlarında erozyon sebebiyle kaybolan topraklar, tarım alanlarının verimsizleşmesine ve dolayısıyla çölleşmeye doğru yol aldığı öngörülmektedir. Erozyonla mücadele kapsamında, uygulanacak en önemli çözümlerden biri ağaçlandırmadır. Ormanların hızla vasfını yitirmesi sonucu ekolojik dengenin bozulması, antropojen kaynaklı tahriplerin artması, küresel ısınma, erozyon ve su kaynaklarının azalması sebebiyle ağaçlandırma çalışmaları hayati önem kazanmaktadır (Kondur vd.,2007). Uygulanan ağaçlandırma çalışmalarının başarılı olması ve erozyonu önlemede etkin rol oynaması için, tür seçimi son derece önemlidir. Günümüzde yapılan ağaçlandırma çalışmalarında, iğne yapraklı türler ile birlikte en az %30 oranında geniş yapraklı ağaç türleri kullanılmaktadır. Geniş yapraklı ağaç türlerinin başında da genellikle yalancı akasya gelmektedir (Çatal vd., 2005).

Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia* L.), doğal yayılışını 45°-35° kuzey enlemleri arasında olup Amerika'nın endemik türüdür. Kuzey Amerika Kıtası'nın güneydoğu kesimlerinde Virjinya, Karolina, Pensilvanya ve Georgia' da doğal olarak yayılış göstermektedir. Yalancı Akasya Almanya, Macaristan, Romanya, Bulgaristan, Sırbistan ve Türkiye gibi birçok ülkede yetiştirilmektedir. Ülkemizin bazı yörelerinde bu tür; 'Cumhuriyet Ağacı', 'Diken Ağacı' ve 'Salkım Ağacı' gibi isimlerle bilinmektedir. Doğal yayılış alanlarında yıllık ortalama yağış 400-1600 mm., yıllık ortalama sıcaklık ise 2-40 °C arasında değişmektedir (Hanover vd., 1991; Turna ve Turna, 2000). Yalancı akasya ülkemizde genellikle yol şevi ağaçlandırmaları, heyelan kontrolleri ve orman içi açıklık alanlarda erozyon kontrolü gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

Kök sürgünlerinin kuvvetli ve kanaatkâr bir tür olması sebebiyle erozyon kontrolünde ve kurak bölgelerin tarım alanlarında tesis edilen önleyici orman şeritleri kompozisyonu içinde yer almasını sağlamıştır (Okulu, 2019). Yalancı akasya, gerek toprak iyileştirici özelliği, gerekse odununun ve ekstrem sahalara uyumunun yüksek olması sebebiyle ülkemiz ormancılığında, yüksek ekolojik ve ekonomik değere sahiptir. Bu bağlamda, özellikleri ile incelenerek, türün koruma, ıslah ve kültüre alınma çalışmalarına katkı sağlanması amaçlanmıştır.

2.YALANCI AKASYA’NIN GENEL ÖZELLİKLERİ

Yaklaşık 20 türü bulunan *Robinia* cinsinin, ağaç formunda sadece 4 türü *Robinia pseudoacacia*, *Robinia lucurians*, *Robinia viscosa* ve *Robinia ambigua* ormancılık açısından önemi sahiptir. Türkiye’de *Robinia pseudoacacia*, *Robinia viscosa* (çalı formunda) ve *Robinia hispida* egzotik yayılımı vardır. Ülkemizde deniz seviyesinden 1100 m. yükseltiye kadar tek veya gruplar halinde yayılım göstermektedir. Kuru ve ağır topraklar dışında her türlü toprakta yetişebilmektedir. Toprak pH değeri 4.2 – 8.5 arasında değişmekte olup en iyi gelişimini kalker ağırlıklı, drenajı yüksek balçıklı topraklarda yapmaktadır (Anşin ve Özkan,1993). Yaklaşık 25 m boy ve 1 m çap yapabilen bir tür olup kışın yaprağını döker (Görsel 1). Işık ağacı olan Yalancı Akasya hızlı büyüyen bir tür olup, öz odunu koyu, diri odunu ise açık sarı renge sahip olması sebebiyle oldukça dayanıklıdır. (Hanover vd., 1991).



Görsel 1. Yalancı Akasya bireyleri

Sürgünleri dikenli, yaprakları tüysü, yaprakçıkları 7-20 adet, açık yeşil ve mavimsi renkte olup alt ve üst yüzleri tüysüzdür. Çiçekleri 2,5 cm uzunluğunda beyaz, güzel kokulu ve sarkık, meyve ise yassı, derimsi bir bakla şeklinde olup tohumları siyahtır (Anşin ve Okatan, 1994) (Görsel 2). Akasya, yaprakları ve çiçeklerinin estetik özelliği sebebiyle peyzaj çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir türdür.



Görsel 2. Yalancı Akasya çiçek ve meyveleri

Oldukça kanaatkâr bir tür olan yalancı akasya, kumul sahalarının ve erozyona maruz alanların ağaçlandırılmasında da başarıyla kullanılmaktadır. Ayrıca hızlı gelişen bir tür olup, odunu yakacak olarak kullanıldığı gibi sanayide hammadde olarak da kullanılmaktadır (Atay, 1985). Yalancı akasya bulunduğu toprağın kimyasal, dolayısıyla da fiziksel özellikleri üzerinde olumlu etkiye sahip bir ağaç türüdür (Karatepe, 2005), Yalancı Akasya topraktaki azot miktarını arttırması sebebiyle erozyona uğramış sahalardaki fakir toprakların ıslahında vazgeçilmez bir tür olma özelliğini kazandığını belirtmiştir. Artvin İli Yusufeli İlçesi Pamukçular Havzasında Yalancı akasya ile yapılan ağaçlandırma çalışmalarının toprağın fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde olumlu yönde etkisi olduğu saptanmıştır (Yüksek vd., 2010). Kondur vd. (2007) meşcere karışımını sağlamak, üst toprağı taşınmış ve fakirleşmiş alanlarda toprak ıslahı amacıyla Yalancı akasya ile dişbudak yapraklı akcağaç (*Acer negundo* L.) türlerini üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yapılan araştırma sonucunda; söz konusu türlerin, toprağa azot bağlayarak diğer fidanların gelişimlerine katkı sağladıkları sonucuna ulaşılmıştır. Akasya odunun sert ve dayanıklı olması özelliği nedeniyle çit kazığı, kayık ve telefon direği yapımında kullanılmaktadır (Smith vd., 1989). Yalancı akasya, 1-2 yılda bir bol tohum yılı olan ve çok bol tohum veren tür olması sebebiyle, toprak tekstürünün, meşcere kapalılığının ve sıklığının normal olduğu şartlarda doğal yollarla gençleşme yapılmaktadır. Tohumların küçük ve uçuş kabiliyeti olmaması sebebiyle gençleştirme büyük alan siper işletmesi yöntemiyle sağlanmaktadır. (Atay, 1985). Baklagiller familyasından Yalancı Akasya, ülkemizde dona dayanıklıdır. (Saatçioğlu, 1976). Örnek olarak; Ardahan-Posof yöresinde 2012 yılında erozyonu önlemek amaçlı yapılan yol kenarı ağaçlandırmasında, 2500 adet yalancı akasya fidanı dikilmiş ve yüzde yüz başarı sağlanmıştır. Isparta yöresinde 2005-2015 yılları arasında 9 sahada Yalancı akasya ağaçlandırma çalışması yapılmış ve akasya fidanlarının gelişimleri olumlu olarak gözlemlenmiştir (Okulu, 2019). Isparta ili sınırları içerisinde bulunan Gölcük Tabiat Park'ına, yaklaşık 40 yıl önce 592 hektar Yalancı Akasya ağaçlandırılması yapılmıştır. Mevcut alanın iklim ve toprak özellikleri sebebiyle fidanlar sahaya uyum sağlamış ve yüzde yüz başarı elde edilmiştir. Tabiat Parkı'nda 2003 yılında meydana gelen yoğun kar yağışında Yalancı Akasya meşcerelerinin 311 hektarı zarara maruz kalmıştır. Ancak bu ağaç türünün kök

ve gövde sürgünü verebilme özelliği kırık ve devriklerden sonra kendini toparlayabilmesini mümkün kılmıştır (Karatepe, 2005). Rehabilitasyon çalışmaları kapsamında 2022 yılında; 30.2 ha alanda ağaçlandırma, 55.1 ha alanda rehabilitasyon, 19.9 ha alanda erozyon kontrolü, 16.2 ha alanda sel kontrolü, 12.9 ha alanda mera ıslahı, 6.5 ha alanda özel ağaçlandırma, 27.8 ha alanda suni tensil çalışması olmak üzere toplam 168.6 ha alanda orman tesis çalışması yapılmıştır (OGM,2020). Türün ağaçlandırmalarda kullanılan tescilli tek tohum kaynağı, Isparta yöresinde yer alan 61.9 hektar büyüklüğündeki tohum meşçeresidir (OGM, 2024) (Görsel 3).



Görsel 3. Yalancı Akasya'nın Isparta'daki tohum meşçeresinden bir görünüm

Yalancı Akasya, odunun sert ve dayanıklı olması, toprağı azotça zenginleştirmesi, dona ve kuraklığa dayanıklı olması, kumul sahalar ve erozyona maruz kalmış sahaların ıslahında en çok tercih edilen tür olması gibi bir çok önemli ekonomik ve ekolojik değere sahip bir tür olması sebebiyle ülkemiz ormancılığında ileride yapılacak çalışmalarda bu türe öncelik verilip desteklenmelidir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Ormanlar, kendine özgü bir iklim oluşturabilen, belirli bir kapalılık ve sıklıkta ağaç, ağaççık, çalı ve otsu bitkiler, mikroorganizmalar, çeşitli böcek ve yaban hayvanlarıyla birlikte oluşturduğu yaşam alanıdır. İnsan nüfusunun ve tüketimin artması, ormanlara olan ihtiyacı arttırmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin günden güne artması Dünya'da ve ülkemizde erozyona ve beraberinde çölleşmeye neden olmaktadır. Ülkemizin geniş bir kısmı kurak ve yarı kurak alanlardır. Kurak ve yarı kurak alanlarda erozyonla mücadele etmek için yapılacak en önemli uygulama ağaçlandırmadır. Ağaçlandırma çalışmalarında başarılı sonuç elde etmenin en temel prensibi, uygulanacağı yöreye en uygun ağaç türü seçimidir. Ülkemizin yabancı türü(egzotik), Amerika Kıtası'nın endemik türü olan Yalancı Akasya; yıllık ortalama yağış 400-1600 mm., yıllık ortalama sıcaklık ise 2-40 °C arasında değişkenlik gösteren ekstrem iklim koşullarına dayanıklı bir türdür. Kuru, ağır topraklar dışında her türlü toprakta yetişebilmekle birlikte, 25 m boy 1 m çap yapabilmektedir. Gerek kumul alanlar ve erozyona

maruz kalmış sahaların ıslah çalışmalarında, gerek orman içi açıklık alanlarda ilk tercih edilen geniş yapraklı türdür. Ülkemizde odunun sert ve dayanıklı olması özelliğiyle çit kazığı, kayık ve telefon direği yapımında kullanılmaktadır. Türkiye ormancılığında, önemli ekonomik ve ekolojik değere sahip türün, ağaçlandırma ve ıslah çalışmalarında daha geniş yer verilmez. Ormanlar ve diğer doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması amacıyla, güncel veriler araştırılıp, incelenerek türün korunması ve ıslahı önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Anşın, R., Özkan, C. *Tohumlu Bitkiler (Spermatophyta) Odunsu Taksonlar*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 1993.

Anşın, R., Okatan, A. *Doğu Karadeniz Bölgesinin Önemli Yan Ürün Veren Odunsu ve Otsu bitkileri*. Proje no: TOAG-903, Trabzon, 1994.

Atay, İ. *Akasyanın Önemi ve Silvikültürel Özellikleri*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 35 (1), 22-31, İstanbul, 1985.

Çatal, Y., Gürlevik, N., Karatepe, Y., Carus, S. *Isparta-Gölcük Yöresi Yalancı Akasya (Robinia pseudoacacia L.) Meşcereleri İçin Tek ve Çift Girişli Ağaç Hacım Tablosu*, Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A(2), 67-76, Isparta, 2005.

Karatepe, Y. *Gölcük'te (Isparta) Dikimle Yetiştirilmiş Salkım Ağacı (Robinia pseudoacacia L.) ve Karaçam (Pinus nigra Arnold.) Ormanlarının Topraklarındaki Organik Madde ve Azot Birikimi*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, A55(1), 209-223, İstanbul, 2005.

Kondur, Y., Öner, N., Yılmaz, S., Demir, N., İmal, B., Şimşek, Z. *Türkiye'de Yarı kurak Bölgelerde Yapılan Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Uygulamalarının Değerlendirilmesi Çalıştayı*, Bildiriler Kitabı, 1, 80-87, Nevşehir, 2007.

OGM (2024). <https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/Turkiye-Orman-Varligi>. (Erişim Tarihi: 10.03.2025)

Okulu, F., *Isparta Çevresindeki Yalancı Akasya (Robinia Pseudoacacia L.) Ağaçlandırma Sahalarında Anakaya-Toprak Özelliklerinin Ağaç Gelişimine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta, 2019.

Smith, A.L, Campbell, C. L., Diwakar, M.P., Hanover, J.W., Miller, R.O. *Extracts from black locust as wood preservatives: A comparison of the methanol extract with pentachlorophenol and chromated copper arsenate*. 43: 293-296, Holzforschung, 1989.

Turna, İ, Turna, H. *Yalancı Akasya (Robinia pseudoacacia L.) Orijininde Fidan Kalite Sınıflarının Belirlenmesi*. Kafkas Üniversitesi, Artvin Orman Fakültesi Dergisi, 1(1): 18-26.

Yüksek. T., Özalp, M., Yüksek, F., Yüksel, E. E., Dehşet, F., İnanlı, E. *Erozyon Kontrol Sahalarında Kullanılan Yalancı Akasyanın (Robinia pseudoacacia L.) Toprak Özelliklerine Etkisi (Artvin-Pamukçular Havzası Örneği)*. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 708-715, 2010.

BiLSTM-BASED TYPE-1 GLUCOSE PREDICTION WITH MULTI-PARAMETER INPUT ANALYSIS

Ömer Atılım KOCA ¹, Bengü FETİLER ², Volkan KILIÇ ³

¹ Izmir Bakircay University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0007-7286-6785

² Manisa Celal Bayar University, Faculty of Computer and Information Sciences, 0000-0002-4290-6471

³ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-3164-1981

ABSTRACT

Accurate prediction of glucose levels using continuous glucose monitoring data is crucial for diabetes management, enabling timely interventions to reduce hypo- and hyperglycemic events. However, predicting future glucose levels remains a challenging task due to the complex and variable nature of glucose levels. While artificial intelligence based models have been widely applied to address these complexities, traditional models often lack the ability to capture the temporal dependencies essential for accurate prediction. To address this limitation, we compare Long Short-Term Memory (LSTM) and Bidirectional LSTM (BiLSTM) architectures for enhanced glucose prediction, evaluating their performance with varying numbers of physiological parameters. The prediction models were evaluated on the OhioT1DM dataset, demonstrating superior performance for 30-min prediction horizon. BiLSTM achieved a root mean square error (RMSE) of 13.54 mg/dL for 30-min horizons, showing a slight improvement over LSTM, which had an RMSE of 13.59 mg/dL when processing three parameters. Furthermore, our analysis identifies optimal parameter combinations for different prediction scenarios, demonstrating that bidirectional processing offers advantages in capturing complex glucose dynamics.

Keywords: Glucose prediction, Continuous glucose monitoring, Long Short-Term Memory, Bidirectional LSTM, Multi-parameter.

1. INTRODUCTION

Effective diabetes management is essential for preventing complications and maintaining stable glucose levels. Recent advancements in continuous glucose monitoring (CGM) devices have improved the ability to track glucose levels, providing sequential, time-varying measurements [1]. Compared to traditional methods such as fingerstick testing and laboratory measurements, CGM devices offer a more comprehensive view of glucose dynamics, capturing fluctuations. Furthermore, these continuous measurements enable the development of predictive models by providing essential data for analyzing temporal patterns and identifying complex glucose fluctuations and their underlying factors [2]. However, glucose prediction remains a challenging task due to the highly complex and non-linear nature of glucose dynamics,

influenced by multiple parameters such as insulin intake, physical activity, and meal consumption.

In recent years, artificial intelligence (AI)-based models, particularly deep learning architectures, have emerged as powerful tools for addressing the challenges of glucose prediction [3]. These models have demonstrated remarkable capabilities in capturing complex temporal dependencies and identifying patterns within sequential data. Among these architectures, Long Short-Term Memory (LSTM) networks and their bidirectional variant (BiLSTM) have shown particular promise due to their ability to learn long-term dependencies in sequential data [4]. While LSTM networks process temporal information in a forward direction, BiLSTM networks analyze the sequence in both forward and backward directions, potentially capturing more comprehensive temporal relationships.

Sun et al. investigated a deep learning model that combined LSTM and BiLSTM layers for glucose prediction [5]. Their study evaluated performance across different prediction horizons (PH) and reported improvements over conventional machine learning models. Rabby et al. proposed a stacked LSTM model with Kalman smoothing to enhance glucose predictions by reducing errors from CGM sensors [6]. Their findings suggest that preprocessing methods play a significant role in improving LSTM-based prediction accuracy. Ghimire et al. compared LSTM networks with other deep learning models for blood glucose prediction [7]. Their analysis showed that LSTM-based models performed consistently well in handling temporal dependencies and reducing prediction errors. Bian et al. explored a hybrid transformer-LSTM model for glucose forecasting, integrating attention mechanisms with sequential processing [8]. The results indicate that transformer-based architectures can complement LSTMs for improved predictive performance. These studies have examined LSTM and BiLSTM for glucose prediction, though systematic comparisons focusing on the impact of multiple input parameters remain limited.

The incorporation of multiple parameters into glucose prediction models presents both opportunities and challenges. An additional parameter such as insulin dose, meal intake and physical activity metrics can provide valuable context for understanding glucose dynamics. On the other hand, the increased dimensionality and complexity of the input space can make it more difficult to learn meaningful patterns and relationships. The interaction between these parameters and their relative importance in prediction accuracy needs to be systematically investigated to develop more effective prediction models.

This paper presents a comprehensive comparison of LSTM and BiLSTM architectures for glucose prediction, with a specific focus on how varying the number and type of input parameters affects prediction performance. Evaluations on the OhioT1DM dataset indicate that BiLSTM demonstrates enhanced performance in processing multiple physiological parameters compared to LSTM. The bidirectional nature of BiLSTM allows it to capture temporal dependencies more effectively, particularly when incorporating additional parameters beyond glucose levels. While both models show stable performance trends across different parameter configurations, the improvements with BiLSTM suggest that leveraging bidirectional processing can be beneficial for glucose prediction. These findings provide insights into the effectiveness of deep learning models in handling multi-parameter inputs and their practical implications for real-world applications. The main contributions of this work can be summarized as follows:

- A comparison of LSTM and BiLSTM architectures for glucose prediction, evaluating their performance across multiple PH,
- A detailed analysis of how varying the number and type of input parameters impacts prediction accuracy for each architecture

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 presents the methodology, including the data preprocessing steps, deep learning architectures. Section 3 describes the experimental results and comparative analysis. Finally, Section 4 concludes the paper with a discussion of implications and future research directions.

2. METHOD

2.1. Data Preprocessing

Data preprocessing is a fundamental step in time-series modeling, ensuring that input data is structured, consistent, and suitable for deep learning architectures. The preprocessing steps typically consist of three key stages: parameter selection, handling missing values, and normalization.

Parameter selection is a common technique used to identify the most relevant features for predictive modeling [9]. One widely used approach is correlation analysis, often visualized through a heatmap, which helps quantify the relationships between different variables. Parameters with strong correlations to the target variable can be prioritized to improve model performance, while weakly correlated or irrelevant features can be excluded to reduce dimensionality and computational complexity.

Handling missing values is particularly important in time-series data, as gaps in the sequence can impact model reliability. Various imputation techniques exist, with linear interpolation being a commonly used method to predict missing values based on surrounding data points [10]. This technique assumes a gradual transition between known values, making it effective for filling short-duration gaps while maintaining temporal consistency. However, interpolation should be limited to short intervals to minimize the risk of introducing artificial patterns that may compromise the integrity of the time-series data and impact model performance.

Normalization is another essential preprocessing step aimed at standardizing input features to prevent scale imbalances from affecting learning [11]. A common technique is standard scaling, which transforms each feature to have zero mean and unit variance:

$$x_{normalized} = \frac{(x - \mu)}{\sigma} \quad (1)$$

where μ is the mean and σ is the standard deviation of the feature. This normalization was performed separately for each parameter to preserve their relative variations while making them suitable for neural network processing.

2.2. Deep Learning Architectures

Deep learning architectures designed for sequential data processing have demonstrated capability in capturing temporal dependencies and complex patterns in time-series data. These architectures, particularly variants of recurrent neural networks (RNNs), have become prominent in predictive modeling due to their ability to learn complex temporal relationships

from multivariate sequences. Among these, LSTM and BiLSTM networks have emerged as effective models for handling long-range dependencies and bidirectional contextual information in sequential datasets.

2.2.1. Long Short-Term Memory

LSTM networks are designed to capture long-term dependencies in time-series data through a specialized memory cell structure and gating mechanism [12, 13]. The architecture includes three key gates: the input gate, the forget gate and the output gate, which regulate the flow of information through the network. These gates allow the model to selectively retain or discard information, ensuring that relevant patterns are retained while ignoring irrelevant data. This structure also reduces the vanishing gradient problem commonly observed in traditional RNNs, improving the ability of the network to learn from long-term sequences. The forget gate computation in LSTM uses a sigmoid activation function, represented as ϕ :

$$f_t = \phi(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

where f_t is the forget gate activation at time step t , W_f represents the weight matrix associated with the forget gate, h_{t-1} is the previous hidden state, x_t is the current input, and b_f denotes the bias term. Similarly, the input gate calculation employs the same activation:

$$i_t = \phi(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (3)$$

where i_t represents the activation of the input gate, W_i is the corresponding weight matrix, and b_i is the bias term for the input gate. The output gate is computed as:

$$o_t = \phi(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (4)$$

where o_t denotes the activation of the output gate, W_o represents the weight matrix for the output gate, and b_o is the corresponding bias term. The cell state update integrates both gates:

$$c_t = f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (5)$$

where c_t is the cell state at time step t , c_{t-1} represents the previous cell state, W_c is the weight matrix associated with the cell state update, and b_c is the bias term. The operator $\odot$ denotes element-wise multiplication. Finally, the hidden state computation:

$$h_t = o_t \odot \tanh(c_t) \quad (6)$$

where h_t is the hidden state at time step t , and the function $\tanh$ applies a non-linear transformation to the cell state before element-wise multiplication with the output gate activation. The ability of LSTM to model sequential data stems from its ability to learn complex temporal dependencies through its gating mechanisms. The forget gate allows the network to discard irrelevant historical information, while the input gate allows it to incorporate new, relevant information. This selective memory mechanism is particularly valuable in time-series prediction, where both recent and past trends play a crucial role in determining future values.

2.2.2. Bidirectional Long Short-Term Memory

BiLSTM networks enhance the capabilities of standard LSTM by processing input sequences in both forward and backward directions simultaneously [14]. This bidirectional processing enables the capture of both past and future dependencies at each time step, providing a more

comprehensive understanding of temporal context in sequential data. The architecture consists of two independent LSTM layers: a forward layer processing the sequence from past to future, and a backward layer processing from future to past. The BiLSTM computation at each time step can be expressed as:

$$h_t = [\vec{h}_t, \overleftarrow{h}_t] \quad (7)$$

where $\vec{h}_t$ represents the hidden state from the forward layer and $\overleftarrow{h}_t$ represents the hidden state from the backward layer. This concatenated output provides a richer representation of the temporal context around each time point, potentially capturing more complex patterns in sequential data.

The bidirectional architecture offers several advantages for time-series modeling. By processing the sequence in both directions, BiLSTM can capture dependencies that might be missed by unidirectional processing. This is particularly relevant in scenarios where influencing factors have both forward and delayed effects. Additionally, the bidirectional processing helps in identifying longer-term trends while maintaining sensitivity to local fluctuations, a crucial capability for improving predictive accuracy across different time horizons.

3. EXPERIMENTAL EVALUATIONS

3.1. Dataset and Performance Metrics

The experimental evaluation was conducted using the OhioT1DM dataset, a comprehensive collection of diabetes-related data from twelve Type 1 diabetes patients monitored over an eight-week period [15]. This dataset has become a standard benchmark in glucose prediction research due to its detailed temporal resolution and multi-parameter nature. The data includes CGM readings recorded at 5-min intervals, providing high-frequency temporal data essential for accurate prediction modeling. Each patient in the dataset is identified by a unique number (540, 544, 552, 559, 563, 567, 570, 575, 584, 588, 591, and 596) to maintain anonymity while allowing for individual analysis. The dataset provides substantial data volume for both training and testing, with approximately 9,000 to 12,000 training samples and 2,300 to 2,900 testing samples per patient.

For each patient, the dataset contains several key parameters beyond glucose measurements, including basal insulin doses, bolus insulin doses, and meal information. This multi-parameter structure enables comprehensive analysis of how different physiological factors influence glucose dynamics.

Model performance evaluation primarily utilized the root mean square error (RMSE), a widely used metric in prediction studies. RMSE was chosen for its ability to effectively capture the magnitude of prediction errors while being particularly sensitive to large deviations, making it especially relevant for applications where minimizing significant errors is critical. The RMSE is calculated as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (7)$$

Table 1. RMSE of LSTM Model with Different Parameter Configurations

Patient	1 Parameter	2 Parameter	3 Parameter
540	14.38	14.13	14.26
544	11.73	11.87	11.36
552	11.22	11.25	11.45
559	13.03	13.22	13.40
563	14.11	13.86	13.94
567	13.59	13.67	13.75
570	11.26	11.23	11.26
575	17.01	17.33	16.93
584	15.90	15.30	15.81
588	12.77	13.45	13.17
591	16.01	15.43	15.27
596	12.25	12.64	12.53
Average	13.61	13.61	13.59

where y_t represents the actual glucose value, $\hat{y}_t$ denotes the predicted value, and T is the total number of predictions. This metric provides a comprehensive measure of prediction accuracy by penalizing larger errors more heavily through the squared term, ensuring that substantial deviations are given greater weight in performance assessment.

3.2. Results and Discussion

The experimental results provide detailed information on the comparative performance of the LSTM and BiLSTM models across different parameter configurations and patient scenarios. Analysis of the LSTM model performance, as presented in Table 1, reveals several patterns in prediction accuracy across different parameter configurations. The first configuration includes only CGM values as input. The second configuration expands the input set to include both CGM values and basal insulin. The third configuration further incorporates bolus insulin, resulting in a multi-parameter input set consisting of CGM, basal insulin, and bolus insulin. With a single parameter, the LSTM model achieves an average RMSE of 13.61 mg/dL across all patients. Notably, this performance remains consistent when incorporating a second parameter, maintaining the same average RMSE of 13.61 mg/dL. The addition of a third parameter shows an improvement, with the average RMSE slightly decreasing to 13.59 mg/dL. This pattern suggests that the unidirectional processing of the LSTM may have limitations in effectively capturing the complex interactions between multiple physiological parameters. The BiLSTM model results, presented in Table 2, demonstrate a more consistent pattern of improvement as the number of parameters increases. Starting with a single parameter, the model achieves an average RMSE of 13.58 mg/dL, slightly better than the LSTM model.

Table 2. RMSE of BiLSTM Model with Different Parameter Configurations

Patient	1 Parameter	2 Parameter	3 Parameter
540	14.40	14.12	13.96
544	11.74	11.77	11.37
552	11.28	11.26	11.46
559	13.11	13.24	13.17
563	13.89	13.96	13.90
567	13.64	13.72	13.75
570	11.22	11.21	11.21
575	17.27	16.97	16.96
584	15.86	15.43	16.03
588	12.90	12.96	13.13
591	15.82	15.49	15.25
596	12.33	12.44	12.34
Average	13.58	13.55	13.54

This performance improves to 13.55 mg/dL with two parameters and further reduces to 13.54 mg/dL with three parameters. The consistent improvement trend suggests that the bidirectional processing architecture of BiLSTM more effectively captures the interdependencies between multiple physiological parameters, leading to more accurate predictions as more information becomes available.

Individual patient analysis reveals significant variations in prediction accuracy across the study cohort. Patient 570 consistently demonstrates superior prediction accuracy across both models and all parameter configurations, maintaining RMSE values around 11.2-11.26 mg/dL. This consistent performance suggests more regular and predictable glucose patterns for this patient. In contrast, Patient 575 shows notably higher RMSE values, exceeding 16.9 mg/dL across different configurations, indicating more complex or variable glucose dynamics that present greater challenges for accurate prediction.

The performance variations between patients highlight the importance of considering individual differences in glucose dynamics when developing prediction models. For instance, Patients 552 and 570 consistently show lower RMSE values across both architectures, suggesting more predictable glucose patterns, while Patients 575 and 584 consistently show higher RMSE values, indicating more challenging prediction scenarios. These variations might be attributed to differences in lifestyle factors, insulin sensitivity, or other physiological characteristics that influence glucose dynamics.

Comparative analysis between LSTM and BiLSTM architectures reveals several key insights. While both models perform well, BiLSTM shows a consistent advantage, particularly in multi-parameter scenarios. This superiority can be attributed to its bidirectional processing capability, which enables more comprehensive capture of temporal dependencies in both forward and backward directions. The small performance difference between architectures suggests both

models are suitable for glucose prediction, with the choice depending on factors like computational resources and real-time processing requirements.

4. CONCLUSION

This study presents a comprehensive comparison of LSTM and BiLSTM architectures for glucose prediction, with particular emphasis on their performance across varying numbers of input parameters. The experimental results demonstrate that both architectures achieve promising prediction accuracy, with BiLSTM showing slightly superior performance when handling multiple physiological parameters. Specifically, BiLSTM achieved average RMSE values of 13.58, 13.55, and 13.54 mg/dL for one, two, and three parameters respectively, compared to LSTM 13.61, 13.61, and 13.59 mg/dL.

The incorporation of multiple parameters revealed interesting patterns in prediction performance. While LSTM maintained relatively consistent performance across parameter configurations, BiLSTM demonstrated progressive improvement with additional parameters, suggesting better capability in capturing complex inter-parameter relationships. This finding highlights the advantage of bidirectional processing in understanding the intricate temporal dependencies present in glucose dynamics.

The findings of this study provide important insights for the development of predictive modeling systems. The results indicate that incorporating additional input parameters can enhance prediction accuracy, but the extent of improvement depends on the choice of model architecture. The observed performance advantage of BiLSTM in multi-parameter settings suggests that bidirectional processing is particularly effective in capturing complex temporal relationships.

Future research directions could include investigation of additional physiological parameters, exploration of hybrid architectures combining the strengths of different approaches, and development of personalized model that can adjust to individual patient characteristics. Furthermore, the implementation of these models in real-time prediction systems and their integration with existing diabetes management tools represents an important next step toward practical application.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the Grant Numbers 222S488 and by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University under the Grant Numbers 2023-TYL-FEBE-0025. The authors thank to TUBITAK and Izmir Katip Celebi University for their supports.

REFERENCES

- [1] O. Didyuk, N. Econom, A. Guardia, K. Livingston, and U. Klueh, "Continuous glucose monitoring devices: past, present, and future focus on the history and evolution of technological innovation," *Journal of diabetes science and technology*, vol. 15, no. 3, pp. 676-683, 2021.

- [2] R. N. Janapala *et al.*, "Continuous glucose monitoring versus self-monitoring of blood glucose in type 2 diabetes mellitus: a systematic review with meta-analysis," *Cureus*, vol. 11, no. 9, 2019.
- [3] H. Butt, I. Khosa, and M. A. Iftikhar, "Feature transformation for efficient blood glucose prediction in type 1 diabetes mellitus patients," *Diagnostics*, vol. 13, no. 3, p. 340, 2023.
- [4] S. Siarni-Namini, N. Tavakoli, and A. S. Namin, "The performance of LSTM and BiLSTM in forecasting time series," in *IEEE International conference on big data (Big Data)*, 2019: IEEE, pp. 3285-3292.
- [5] Q. Sun, M. V. Jankovic, L. Bally, and S. G. Mougiakakou, "Predicting blood glucose with an lstm and bi-lstm based deep neural network," in *14th symposium on neural networks and applications (NEUREL)*, 2018: IEEE, pp. 1-5.
- [6] M. F. Rabby, Y. Tu, M. I. Hossen, I. Lee, A. S. Maida, and X. Hei, "Stacked LSTM based deep recurrent neural network with kalman smoothing for blood glucose prediction," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 21, pp. 1-15, 2021.
- [7] S. Ghimire, T. Celik, M. Gerdes, and C. W. Omlin, "Deep learning for blood glucose level prediction: How well do models generalize across different data sets?," *Plos one*, vol. 19, no. 9, p. e0310801, 2024.
- [8] Q. Bian, A. As' array, X. Cong, K. A. b. M. Rezali, and R. M. K. b. Raja Ahmad, "A hybrid Transformer-LSTM model apply to glucose prediction," *PLoS One*, vol. 19, no. 9, p. e0310084, 2024.
- [9] I. Guyon and A. Elisseeff, "An introduction to variable and feature selection," *Journal of machine learning research*, vol. 3, no. Mar, pp. 1157-1182, 2003.
- [10] M. Lepot, J.-B. Aubin, and F. H. Clemens, "Interpolation in time series: An introductive overview of existing methods, their performance criteria and uncertainty assessment," *Water*, vol. 9, no. 10, p. 796, 2017.
- [11] L. Huang, J. Qin, Y. Zhou, F. Zhu, L. Liu, and L. Shao, "Normalization techniques in training dnns: Methodology, analysis and application," *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol. 45, no. 8, pp. 10173-10196, 2023.
- [12] M. Z. Hossain, F. Sohel, M. F. Shiratuddin, and H. Laga, "A comprehensive survey of deep learning for image captioning," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 51, no. 6, pp. 1-36, 2019.
- [13] H. Sak, A. W. Senior, and F. Beaufays, "Long short-term memory recurrent neural network architectures for large scale acoustic modeling," in *Interspeech*, 2014, vol. 2014, pp. 338-342.
- [14] J. Kim and N. Moon, "BiLSTM model based on multivariate time series data in multiple field for forecasting trading area," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1-10, 2019.
- [15] C. Marling and R. Bunescu, "The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction," in *CEUR workshop proceedings*, 2020, vol. 2675, p. 71.

A BENCHMARK STUDY OF RECURRENT NEURAL NETWORKS WITH EXTENSIONS FOR GLUCOSE PREDICTION

Ömer Atılım KOCA ¹, Bengü FETİLER ², Volkan KILIÇ ³

¹ Izmir Bakircay University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0007-7286-6785

² Manisa Celal Bayar University, Faculty of Computer and Information Sciences, 0000-0002-4290-6471

³ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-3164-1981

ABSTRACT

Predicting future glucose levels for diabetes management remains a challenging task due to the complex and non-linear nature of glucose dynamics. Traditional approaches have failed to capture the complex temporal dependencies in glucose dynamics. With the development of deep learning approaches, especially recurrent neural networks (RNNs) and its variants have shown promising results in handling sequential data. Here, we report a systematic evaluation of RNN, bidirectional RNN (BiRNN), gated recurrent unit (GRU), and bidirectional GRU (BiGRU) approaches using the OhioT1DM dataset. Our analysis shows that BiRNN achieves superior performance with a root mean square error of 18.7 mg/dL for 30-minute prediction horizons, outperforming standard RNN (19.2 mg/dL), GRU (19.0 mg/dL), and BiGRU (18.9 mg/dL). The results show that while gating mechanisms offer computational advantages, bidirectional processing plays a more critical role in capturing complex glucose patterns. These findings suggest that simpler bidirectional approaches may be more effective than complex gated variants for glucose prediction tasks, providing valuable insights for the development of future diabetes management systems.

Keywords: Glucose prediction, RNN, GRU, Bidirectional, Deep learning

5. INTRODUCTION

Diabetes mellitus is a chronic metabolic disorder characterized by a failure to regulate blood glucose levels, resulting in serious complications such as cardiovascular disease, neuropathy and kidney failure [1]. With the increasing prevalence of diabetes worldwide, effective glucose monitoring methods are critical to improving patient outcomes. Continuous glucose monitoring (CGM) systems have revolutionized diabetes care by providing real-time glucose readings, enabling early intervention and personalized treatment strategies [2]. These systems generate a large amount of time-series data, creating opportunities for the development of predictive approaches that can predict glucose fluctuations and help prevent adverse glycemic events [3].

Predicting future glucose levels is particularly difficult due to the sequential, time-varying, non-linear, and non-stationary nature of CGM data, which presents challenges to traditional modeling approaches. Traditional statistical approaches fail to capture the complex temporal dependencies and non-linear patterns present in glucose dynamics [4]. In contrast, deep learning

techniques, particularly recurrent neural networks (RNNs) and their variants, have demonstrated promising capabilities in modeling sequential data, making them ideal for glucose prediction tasks.

Recent studies have explored various deep learning approaches for glucose prediction. Zhang et al. introduced a bidirectional gated recurrent unit (BiGRU) approach with an attention mechanism, which improved glucose prediction accuracy by capturing both past and future dependencies in time-series data [5]. Kim et al. evaluated different RNN approaches for personalized glucose prediction, concluding that GRU-based approaches achieved the best performance in individual predictions [6]. Alkanhel et al. proposed a hybrid approach integrating Convolutional Neural Networks with GRUs, demonstrating the advantages of combining feature extraction with sequence learning [7]. Similarly, Bian et al. investigated transformer-based approaches for glucose prediction, revealing that self-attention mechanisms enhance temporal pattern recognition in CGM data [8]. Lastly, Sun et al. developed a stacked long short-term memory (LSTM) and bidirectional LSTM hybrid approach, highlighting the effectiveness of deep hierarchical approaches in improving long-term glucose prediction [9].

Among the widely used deep learning approaches, RNNs, bidirectional RNNs (BiRNNs), GRUs, and BiGRUs offer different mechanisms to learn from past glucose data. Conventional RNNs process information sequentially, making them sensitive to the vanishing gradient problem, which limits their ability to capture long-term dependencies. GRUs address this issue by incorporating gating mechanisms that selectively retain or discard information, allowing for more efficient learning. Additionally, bidirectional approaches such as BiRNNs and BiGRUs process sequences in both forward and backward directions, capturing more contextual dependencies and improving predictive accuracy.

This study presents a comprehensive benchmark of RNN, BiRNN, GRU, and BiGRU approaches for glucose prediction using the OhioT1DM dataset. The dataset, which consists of CGM data from multiple patients, provides a reliable basis for evaluating the predictive performance of deep learning approaches under real-world conditions. The results show that BiRNN consistently outperforms other approaches, achieving the highest predictive accuracy. This superior performance highlights the advantages of bidirectional learning in capturing complex temporal dependencies within glucose dynamics.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 details the methodology, including data preprocessing, and RNN-based approaches. Section 3 presents the experimental setup, evaluation metrics, and comparative analysis of the approaches. Finally, Section 4 concludes with the implications of our findings and suggests potential directions for future research.

6. METHOD

6.1. Data Preprocessing

Handling missing data is a critical step in time-series modeling, as incomplete datasets can result in biased analysis, reduced accuracy and unreliable predictions. Missing values can be

caused by sensor malfunction, transmission failure or data entry errors. Proper imputation methods ensure data consistency and enhance performance of approaches by preserving temporal dependencies within the dataset. Several imputation techniques are available to handle missing data, including forward-fill, backward-fill, and moving average imputation. Forward-fill replaces missing values with the last observed value, while backward-fill assigns the next available value to missing entries. Moving average imputation calculates the average of surrounding values within a defined window to provide a smoothed estimate. One of the most commonly used techniques is linear interpolation, which estimates missing values by assuming a smooth transition between adjacent known data points [10]. This technique is particularly effective for short gaps in time-series data as it provides a simple and computationally efficient technique to maintaining continuity. Linear interpolation remains a fundamental imputation technique due to its ease of implementation and its ability to preserve essential temporal structures in data-driven applications [11]. By selecting an appropriate imputation strategy, datasets can be prepared for more accurate and robust time-series modeling, ensuring reliable predictions in glucose prediction and other biomedical applications

6.2. Recurrent Neural Networks

RNNs are a class of deep learning specifically designed for sequential data processing. Unlike traditional feedforward neural networks, RNNs incorporate feedback loops that allow information to persist across time steps, making them well-suited for tasks involving temporal dependencies [12]. The basic structure of an RNN consists of recurrent layers, where each neuron receives input from both the current time step and the previous hidden state, allowing the network to retain past information. The mathematical formulation of a standard RNN can be expressed as follows:

$$h_t = f(W_h h_{t-1} + W_x x_t + b) \quad (1)$$

where h_t represents the hidden state at time step t , x_t is the input at time t , and W_h and W_x are weight matrices associated with the recurrent and input connections, respectively. The function f is typically a non-linear activation function, such as $\tanh$ or $ReLU$, while b denotes the bias term.

Despite their ability to model sequential data, traditional RNNs suffer from the vanishing gradient problem, which arises when long-term dependencies are difficult to learn due to the exponential decay of gradients during backpropagation. This limitation reduces their effectiveness in capturing long-range patterns, particularly in complex time-series datasets. To overcome this issue, advanced approaches like LSTM networks and GRUs have been developed to improve long-term dependency learning.

6.3. Gated Recurrent Units

GRUs are an advanced variant of RNNs designed to reduce the vanishing gradient problem while maintaining computational efficiency [13]. GRUs, introduced as a simplified alternative to LSTM networks, employ gating mechanisms to regulate information flow, facilitating the retention of critical dependencies across long sequences.

The GRU architecture consists of two main gates: the update gate and the reset gate. These gates help control how information is updated and forgotten at each time step. The mathematical formulation of a GRU cell is as follows:

$$z_t = \sigma(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z) \quad (2)$$

$$r_t = \sigma(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r) \quad (3)$$

$$\tilde{h}_t = \tanh(W_h x_t + U_h (r_t \odot h_{t-1}) + b_h) \quad (4)$$

$$h_t = (1 - z_t) \odot h_{t-1} + z_t \odot \tilde{h}_t \quad (5)$$

Where z_t is the update gate, r_t is the reset gate, and h represents the hidden state at time step t . The parameters W and U are weight matrices, while b denotes bias terms. The update gate z_t determines how much of the previous hidden state is retained, while the reset gate r_t controls how much of the past information is forgotten before computing the new candidate hidden state $\tilde{h}_t$.

GRUs offer several advantages over traditional RNNs and even LSTMs. They require fewer parameters, reducing computational complexity and improving training efficiency. Additionally, GRUs perform well in capturing long-term dependencies without the need for explicit memory cells, making them highly effective for time-series forecasting tasks. Their ability to model sequential dependencies while maintaining computational efficiency makes them a strong choice for real-world applications where both accuracy and speed are critical.

6.4. Bidirectional RNN and GRU

BiRNNs extend traditional RNNs by allowing information to flow in both forward and backward directions. This structure enables the approach to incorporate context from both past and future time steps, improving its ability to capture dependencies in sequential data [14]. The architecture consists of two recurrent layers: one processing the input sequence in the standard forward direction and another processing it in reverse. By combining these outputs, BiRNNs generate more comprehensive feature representations that enhance performance in tasks requiring full-sequence understanding.

BiGRUs apply the same concept to GRU networks, leveraging their gating mechanisms while processing data in both directions [15]. BiGRUs retain the computational efficiency of GRUs while benefiting from bidirectional processing. The ability to access both past and future information allows BiRNNs and BiGRUs to outperform their unidirectional counterparts in various sequential modeling tasks.

7. EXPERIMENTAL EVALUATIONS

7.1. OhioT1DM Dataset and Performance Metric

The OhioT1DM is a publicly available dataset widely used for glucose level prediction research. It consists of CGM data collected from individuals with Type 1 Diabetes Mellitus

over several weeks. The dataset includes glucose readings taken at five-minute intervals, providing high-resolution temporal data that captures fluctuations in glucose levels throughout the day [16]. Additionally, the dataset incorporates various physiological and contextual parameters such as insulin intake, meal consumption, physical activity, heart rate, and other relevant metrics.

The dataset is structured into multiple patient records, each containing CGM data and other physiological measurements over an extended period. The OhioT1DM dataset includes data from 12 patients, each monitored over an eight-week period. The dataset provides a rich source of information with approximately 8640 glucose measurements per patient, recorded at five-minute intervals.

To assess the predictive performance of the different prediction approaches, we use root mean square error (RMSE) as the primary evaluation metric. RMSE is defined as:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (6)$$

where y_t represents the actual glucose value, $\hat{y}_t$ is the predicted glucose value, and T is the total number of predictions. RMSE is widely used in time-series prediction as it penalizes large deviations more than other metrics, making it particularly suitable for evaluating prediction approaches. Lower RMSE values indicate better predictive accuracy and more reliable glucose forecasts.

7.2. Results and Discussion

The experimental evaluation compares the performance of the RNN, GRU, BiRNN, and BiGRU approaches on glucose prediction using the OhioT1DM dataset. Table 1 shows the RMSE values obtained for each model over different patients.

The results show that BiRNN achieved the lowest average RMSE (13.49), demonstrating improved predictive performance over the other approaches. This finding suggests that bidirectional networks effectively capture temporal dependencies in glucose levels by simultaneously processing past and future information. The BiGRU approach also performed well, with an average RMSE of 13.53, showing the advantage of bidirectional approaches in glucose prediction tasks.

Among the unidirectional approaches, GRU achieved a slightly lower RMSE (13.50) than RNN (13.49), demonstrating the effectiveness of its gating mechanisms in preserving relevant information and reducing the vanishing gradient problem. While the differences between the approaches appear small in terms of RMSE, the improvements in prediction consistency highlight the importance of architecture selection in time-series prediction. In addition, the variation in performance between patients suggests that model performance may be influenced by the complexity of glucose fluctuations in different individuals. Patients 575 and 584 had higher RMSE values for all approaches, indicating greater unpredictability in their glucose levels. In contrast, patients 552 and 570 had lower RMSE values, reflecting more stable glucose patterns that are easier to predict.

Table 1. Model Performance comparison on OhioT1DM dataset in terms of RMSE

Patient	RNN	GRU	BiRNN	BiGRU
540	14.3	14.14	14.29	14.14
544	11.69	11.79	11.83	11.76
552	11.03	11.2	11.02	11.2
559	13.09	13	12.97	12.99
563	13.94	14.02	13.87	13.89
567	13.53	13.63	13.53	13.63
570	11.17	11.21	11.19	11.2
575	17.04	17.22	17.1	17.22
584	15.9	15.33	15.91	15.9
588	12.91	12.89	12.81	12.89
591	14.99	15.2	15.07	15.2
596	12.35	12.37	12.24	12.28
Average	13.49	13.5	13.48	13.53

These results highlight the importance of bidirectional learning in improving glucose prediction accuracy. However, the computational complexity of BiRNN and BiGRU approaches must be considered, especially for real-time applications where inference speed is critical.

8. CONCLUSION

In this study, we compared the performance of RNN, GRU, BiRNN, and BiGRU approaches for glucose prediction using the OhioT1DM dataset. Our results show that bidirectional approaches, especially BiRNN, achieved the lowest RMSE, demonstrating their effectiveness in capturing glucose fluctuations by considering both past and future information. BiGRU also showed strong predictive capabilities, further confirming the advantages of bidirectional processing in sequential data modeling.

Among the unidirectional approaches, GRU showed improved performance over RNN, highlighting the advantages of its gating mechanisms in preserving long-term dependencies. While the RMSE differences between the approaches were relatively small, the bidirectional approaches consistently provided better prediction accuracy, making them more suitable for time-series prediction tasks.

Despite these promising results, the computational complexity of bidirectional approaches may limit their applicability in real-time glucose monitoring systems. Future research should explore techniques to optimize approach efficiency, such as reducing approach size or integrating hybrid approaches. In addition, incorporating external factors such as dietary intake, physical activity, and stress levels into the approaches could further improve prediction accuracy.

Overall, this study highlights the potential of bidirectional recurrent networks in advancing glucose prediction research. By leveraging bidirectional learning and optimizing computational efficiency, these approaches can contribute to more accurate and personalized diabetes management solutions.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the Grant Numbers 222S488 and by the scientific research projects coordination unit of Izmir Katip Celebi University under the Grant Numbers 2023-TYL-FEBE-0025. The authors thank to TUBITAK and Izmir Katip Celebi University for their supports.

REFERENCES

- [1] S. Gül, E. Ü. Avdal, S. Önal, B. N. Dünder, B. Ö. Pamuk, and Z. Doğan, "Diyabette tıbbi bakım standartlarında değişiklikler," *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, vol. 5, no. 1, pp. 25-29, 2020.
- [2] L. Heinemann, "Continuous glucose monitoring (CGM) or blood glucose monitoring (BGM): interactions and implications," *Journal of diabetes science and technology*, vol. 12, no. 4, pp. 873-879, 2018.
- [3] M. M. Kebede and C. R. Pischke, "Popular diabetes apps and the impact of diabetes app use on self-care behaviour: a survey among the digital community of persons with diabetes on social media," *Frontiers in endocrinology*, vol. 10, p. 135, 2019.
- [4] M. F. Rabby, Y. Tu, M. I. Hossen, I. Lee, A. S. Maida, and X. Hei, "Stacked LSTM based deep recurrent neural network with kalman smoothing for blood glucose prediction," *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 21, pp. 1-15, 2021.
- [5] Z. Liu, Y. Zhang, and C. Zhou, "BiGRU-attention for Continuous blood pressure trends estimation through single channel PPG," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 168, p. 107795, 2024.
- [6] D.-Y. Kim *et al.*, "Developing an individual glucose prediction model using recurrent neural network," *Sensors*, vol. 20, no. 22, p. 6460, 2020.
- [7] R. I. Alkanhel *et al.*, "Hybrid CNN-GRU Model for Real-Time Blood Glucose Forecasting: Enhancing IoT-Based Diabetes Management with AI," *Sensors*, vol. 24, no. 23, p. 7670, 2024.
- [8] Q. Bian, A. As' array, X. Cong, K. A. b. M. Rezali, and R. M. K. b. Raja Ahmad, "A hybrid Transformer-LSTM model apply to glucose prediction," *PLoS One*, vol. 19, no. 9, p. e0310084, 2024.
- [9] Q. Sun, M. V. Jankovic, L. Bally, and S. G. Mougiakakou, "Predicting blood glucose with an lstm and bi-lstm based deep neural network," in *14th symposium on neural networks and applications (NEUREL)*, 2018: IEEE, pp. 1-5.
- [10] H. Junninen, H. Niska, K. Tuppurainen, J. Ruuskanen, and M. Kolehmainen, "Methods for imputation of missing values in air quality data sets," *Atmospheric environment*, vol. 38, no. 18, pp. 2895-2907, 2004.
- [11] M. Lepot, J.-B. Aubin, and F. H. Clemens, "Interpolation in time series: An introductive overview of existing methods, their performance criteria and uncertainty assessment," *Water*, vol. 9, no. 10, p. 796, 2017.

- [12] A. Tokgöz and G. Ünal, "A RNN based time series approach for forecasting turkish electricity load," in *26th Signal processing and communications applications conference (SIU)*, 2018: IEEE, pp. 1-4.
- [13] P. T. Yamak, L. Yujian, and P. K. Gadosey, "A comparison between arima, lstm, and gru for time series forecasting," in *Proceedings of the 2nd international conference on algorithms, computing and artificial intelligence*, 2019, pp. 49-55.
- [14] M. Khan, H. Wang, A. Riaz, A. Elfatyany, and S. Karim, "Bidirectional LSTM-RNN-based hybrid deep learning frameworks for univariate time series classification," *The Journal of Supercomputing*, vol. 77, pp. 7021-7045, 2021.
- [15] X. Li, X. Ma, F. Xiao, C. Xiao, F. Wang, and S. Zhang, "Time-series production forecasting method based on the integration of Bidirectional Gated Recurrent Unit (Bi-GRU) network and Sparrow Search Algorithm (SSA)," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 208, p. 109309, 2022.
- [16] C. Marling and R. Bunescu, "The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction," in *CEUR workshop proceedings*, 2020, vol. 2675, p. 71.

REAL-TIME GLUCOSE PREDICTION WITH Q-LEARNING AND KALMAN FILTER FOR PERSONALIZED DIABETES MANAGEMENT

Gözde Havin Fidan ¹, Ömer Atılım KOCA ², Bengü FETİLER³, Volkan KILIÇ ⁴

¹ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0000-9085-0858

² Izmir Bakircay University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0007-7286-678

³ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-4290-6471

⁴ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-3164-1981

ABSTRACT

Accurate glucose prediction is critical for effective diabetes management, enabling timely intervention and reducing the risk of complications. Machine learning (ML) has been widely applied to glucose prediction due to its ability to learn complex physiological patterns from continuous glucose monitoring data. However, traditional ML models often lack the adaptability to dynamically changing conditions that are essential for personalized glucose prediction. Reinforcement learning (RL) has emerged as a promising approach to improve blood glucose prediction through the use of sequential action selection and adaptability. RL-based models can optimize personalized strategies for the regulation of blood glucose levels by continuously learning from historical data and adapting to variations in individual metabolic responses. Despite its potential, RL suffers from stability, adapting to different patient conditions and handling inconsistent or limited data. In addition, RL models require extensive trial and error to find the best strategies, which can initially cause inaccurate predictions and require significant computational power. To address these limitations, we propose the integration of the Kalman filter (KF) with RL. The KF, known for its real-time state estimation and noise reduction capabilities, enhances the learning efficiency and stability of RL-based frameworks. By combining RL with the KF, the proposed model aims to improve the reliability and accuracy of glucose prediction models, offering a more robust and adaptive solution for type 1 diabetes management.

Key Words: Q-Learning, Kalman Filter, Reinforcement Learning, Machine Learning.

9. INTRODUCTION

Effective diabetes management can greatly reduce the risk of long-term complications such as heart disease, kidney failure and vision loss [1]. An essential component of effective diabetes management is the continuous monitoring and control of glucose levels. In recent years, the ability to predict future glucose trends has become increasingly important in supporting the management process. Accurate glucose prediction allows patients to predict future glucose levels, enabling proactive intervention, optimization of insulin dosing, and minimization of hypoglycaemia/hyperglycaemia risks [2, 3]. The advancement of continuous glucose monitoring (CGM) technologies has increased both the volume and complexity of available

glucose data, creating new challenges and opportunities for the development of improved prediction models. Machine learning (ML) offer superior accuracy and personalization for glucose prediction compared to traditional models by extracting meaningful patterns from increasingly complex datasets [4]. Reinforcement learning (RL), a subfield of ML, emerges as a promising approach for better modelling the dynamic and individualized variations in glucose levels [5]. RL enables an agent (e.g., a decision-support system or an automated insulin dosing algorithm) to interact with the environment and learn optimal decisions [6]. This is particularly advantageous for developing personalized and adaptive management strategies. RL-based models can optimize insulin dosages, meal timing, or other interventions based on the historical data of a patient, thereby minimizing the risks of hypoglycaemia and hyperglycaemia. In particular, the adaptability of RL to continuously changing glucose dynamics makes it a powerful tool for real-time action selection and long-term optimization, which makes it different from traditional ML models [7]. Q-learning (QL) is an RL algorithm that operates without a prior model of the environment and learns optimal policies without considering the current behaviour of the agent. Therefore, it is particularly effective in scenarios where the agent must discover optimal actions through iterative exploration and exploitation, without an explicit understanding of the system dynamics [8]. The ability of QL to balance exploration and exploitation allows it to learn optimal actions over time, making it highly adaptable to complex, dynamic environments like glucose regulation, where individual responses can vary considerably. Despite its many advantages, QL suffers from computational inefficiencies in large state spaces, long learning times, and sensitivity to data noise that can degrade performance, especially in complex and dynamic systems. QL attempts to learn an optimal policy by constructing a Q-table that maps state-action pairs to values. However, as the state or action space expands, the size of this table grows rapidly, which causes increased computational costs and slower learning. In systems characterized by continuous variables, classical QL demonstrates inherent limitations regarding direct implementation, thereby necessitating the utilization of discretization methodologies or function approximation approaches for practical application. To overcome these limitations, a hybrid model is proposed that integrates KF with QL (KF-QL).

The KF is a recursive algorithm widely used for real-time state estimation in noisy and uncertain systems. The KF effectively reduces measurement noise and manages uncertainty by continuously updating state estimates based on incoming observations, resulting in more accurate glucose predictions. In the KF-QL hybrid model, the KF dynamically adjusts key parameters, such as the process noise covariance matrix (Q) and the measurement noise covariance matrix (R), enabling the system to adapt more effectively to changing conditions. This integration improves the accuracy of glucose predictions and enhances the ability of QL to learn optimal policies, even in dynamic and noisy environments. By combining the learning capabilities of QL with the prediction accuracy of the KF, the proposed KF-QL model offers a more robust and personalized decision-support mechanism for diabetes management. The rest of this study is structured as follows: [Section 2](#) provides comprehensive details on the KF-QL model, including its underlying principles. The comparison of parameter selection at different time horizons is presented in [Section 3](#). Finally, concluding remarks are presented in [Section 4](#).

10. METHOD

In this section, the two main components of the proposed model, KF and QL algorithms, are analysed.

10.1. Q-Learning

QL is an RL algorithm where an agent learns the best action strategy by interacting with its environment. QL computes a value (Q-value) for each state-action pair, predicting how much the agent will be rewarded for taking action in that state where s represents the current state of the system and a represents the action that the agent can choose in that state. The Q-values are updated throughout the learning process of the agent. From this point, one key of the QL algorithm is the Bellman equation that is a mathematical expression of this updating process, and the agent recalculates the current Q-values considering the rewards received (r) and future rewards. The learning rate (α) determines how much new rewards influence the current Q-value, while the discount factor (γ) controls the significance of future rewards in the overall value prediction. The term $\max_{a'} Q(s', a')$, which represents future rewards, estimates the highest reward that can be received in the next state. These coefficients ensure accurate results in complex systems, by guiding the agent to choose the action that best suits the situation in its environment. The Bellman equation drives the agent to continuously learn the best action, enabling more accurate and personalized predictions over time.

$$Q(s, a) \leftarrow Q(s, a) + \alpha \left[r + \gamma \max_{a'} Q(s', a') - Q(s, a) \right] \quad (1)$$

10.2. Kalman Filter

The KF is an approach commonly used for predicting and correcting dynamic system states. In the KF, two parameters play a crucial role in optimizing the prediction process: Q and R [9]. The Q parameter represents the uncertainty associated with the process model, capturing the unpredictable variations in the state of the system over time. It models the process noise, which reflects the inherent inaccuracies or disturbances in the behaviour of system. On the other hand, the R parameter quantifies the uncertainty in the measurements. It represents the noise or errors inherent in the measurement process, such as sensor inaccuracies, and allows the model to adjust its confidence in the incoming data. The error (e_t) is used in a reward function that allows the system to learn adaptively. The reward function is designed to promote the reduction of the error level. It is defined as follows:

$$r = 15 - 15 \cdot |e_t| + 3 \cdot (|e_{t-1}| - |e_t|) \quad (2)$$

Here, t denotes the current time step, and e_t represents the absolute prediction error at that time. The term e_{t-1} corresponds to the error at the previous time step. The first term, $15 - 15 \cdot |e_t|$ provides an inverse relationship between reward size and prediction error, assigning maximum reward values to predictions with minimal deviation and systematically decreasing rewards as error size increases. The second term, $3 \cdot (|e_{t-1}| - |e_t|)$, considers the change in error, measuring the difference between the previous error and the current error. This component increases the reward when the error decreases and reduces the reward when the error increases. This structure helps guide the system to reduce errors over time.

The reward function enables the dynamic optimization of the KF and contributes to reducing error levels. As the error decreases, the system receives higher rewards, which cause more accurate predictions and better adaptation to environmental changes. As a result, the reward function improves the performance of the KF, enhancing the ability of the system to reduce errors and making it more reliable and adaptive.

11. EXPERIMENTAL EVALUATIONS

11.1. Dataset and Performance Metrics

The experimental evaluation was conducted using the OhioT1DM dataset, a comprehensive collection of diabetes-related data from type 1 diabetes patients. The dataset includes 8 weeks of CGM, insulin administration, physiological sensor data, and self-reported life events for 12 individuals with type 1 diabetes [10]. The data includes CGM readings recorded at 5-minute horizons, providing high-frequency temporal data essential for accurate prediction modelling. For each patient, the dataset contains several key parameters beyond glucose measurements, including basal insulin doses, bolus insulin doses, and meal information.

To quantitatively assess prediction accuracy, various error metrics such as Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) were implemented to measure the deviation between predicted and actual glucose values.

The formulas for RMSE, MAE, and MAPE can be represented as follows:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2} \quad (3)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i - \hat{z}_i| \quad (4)$$

$$\text{MAPE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i} \right| \times 100 \quad (5)$$

where n is the number of the sample, (z_i) is the i –th actual value and $(\hat{z}_i)$ is the value of the prediction in all of the three equations. RMSE measures prediction accuracy by calculating the square root of the average of squared differences between predicted and actual values. It assigns importance to larger errors, making it especially useful when the aim is to reduce significant deviations. MAE measures the average absolute difference between the predicted and actual values, providing a more intuitive understanding of the precision of the prediction. MAPE expresses the error as a percentage of the actual value, allowing comparisons across different datasets, though it may be unreliable when actual values are close to zero. By analysing these metrics, the accuracy of predictions in relation to actual values is evaluated, providing insights that help identify areas for approach improvement.

11.2. Result and Discussion

The proposed study analysed the performance of the KF-QL model based on the number of parameters and different combinations for predicting the glucose level in 30 minutes. The evaluation focuses on how varying the number of parameters affects prediction accuracy across different patients.

Table 1 presents a comparative analysis of 1-parameter, 2-parameter, 3-parameter, and 4-parameter models, providing insights into the effectiveness of each configuration. The 1-parameter model utilizes only CGM data. The 2-parameter model incorporates CGM and the average of combinations involving one additional parameter among basal insulin, bolus insulin, and carbohydrate intake (CHO). The 3-parameter model extends this by including CGM and the average of combinations involving two additional parameters. The 4-parameter model consists of CGM, basal insulin, bolus insulin, and CHO. Additionally, the results will be examined to determine whether a specific parameter combination consistently improves prediction performance. This experiment aims to identify the optimal parameter setting for enhancing glucose predictions by analysing trends across different models and patient data. In Table 1, the performance of the KF-QL model in predicting 30-minute glucose levels was evaluated using RMSE across different parameter configurations. The results indicate that the lowest RMSE value was obtained with the 3-parameter model (17.11), followed by the 2-parameter (17.31) and 1-parameter (17.36) models. In contrast, the RMSE increased to 17.43 in the 4-parameter model, suggesting that while adding parameters initially enhances predictive performance, an excessive number of parameters may cause overfitting or unnecessary complexity.

Patient ID	1-Parameter	2-Parameter	3-Parameter	4-Parameter
540	21.38	21.92	21.35	19.93
544	15.70	16.11	16.92	18.98
552	13.02	12.63	12.19	12.02
559	16.90	16.51	16.52	19.01
563	15.29	15.49	15.44	15.25
567	20.93	21.81	21.84	22.18
570	13.88	15.23	14.20	13.98
575	18.26	18.46	18.73	18.37
584	19.78	19.65	17.44	20.00
588	16.20	16.56	15.45	16.31
591	20.57	17.44	18.76	17.54
596	16.44	15.90	16.49	15.63
Average	17.36	17.31	17.11	17.43

Table 1: Comparative Performance of the Proposed KF-QL.

Parameter Combinations	5-MIN			15-MIN			30-MIN		
	RMSE	MAE	MAPE	RMS E	MAE	MAPE	RMS E	MAE	MAPE
CGM-Basal-Bolus	3.84	2.23	1.51	10.15	6.79	4.57	17.25	12.44	8.35
CGM-Basal-CHO	3.72	2.17	1.46	10.35	6.87	4.62	16.72	11.68	7.84
CGM-Bolus-CHO	3.94	2.29	1.54	10.27	6.76	4.51	16.86	11.77	7.94

Table 2: Performance comparison of KF-QL models for 3-parameter at different time horizons.

These results indicate that increasing the number of parameters improves model performance up to a certain point, beyond which additional parameters can have adverse effects.

In the analysis of the patient-specific results, it was observed that the model had better predictions for some patients, while the error values were significantly higher for others. The error value for patient 552 was between 12 and 14, while for patient 567 it was between 20 and 22. These differences suggest that the model could be improved with personalized adjustments and that different combinations of parameters may give better results for certain patients. Overall, the 3-parameter model produced the most accurate results, showing that simpler models can sometimes outperform more complex ones in prediction tasks. To understand the lower performance in certain patients, it is important to consider individual differences, and exploring personalized prediction models may cause better outcomes.

Table 2 shows the performance of the KF-QL model over different prediction horizons (5, 15, and 30 minutes) for the 3-parameter configurations, evaluated using the RMSE, MAE, and MAPE metrics. At the 5-minute horizon, the CGM-Basal-CHO combination shows superior performance, resulting in the lowest error rates across all metrics. At the 15-minute horizon, the CGM-basal-bolus combination emerges as the most effective, with the highest predictive accuracy. At the 30-minute horizon, CGM-Basal-CHO delivers the best results, consistently minimizing errors. These results highlight the importance of selecting appropriate input features based on the prediction horizon and provide valuable insights for optimizing model performance over different time horizons.

12. CONCLUSION

The study investigated the effect of different parameter configurations on the glucose predictive performance of the KF-QL model. The results showed a nonlinear relationship between parametric complexity and predictive performance, with predictive accuracy initially improving with additional parameters until reaching a critical threshold. Beyond this optimal point, further parameter inclusion resulted in either a small improvement or a decrease in predictive ability. Among the configurations tested, the 3-parameter model achieved the best balance between complexity and accuracy, resulting in the lowest prediction errors. Model effectiveness also varied across patients, suggesting that a single, standardized model may be insufficient for all individuals. Incorporating personalization strategies, by adapting parameter

selection to individual patient data, shows promise for improving prediction accuracy. In addition, analysis across different time horizons revealed that the optimal combination of input features varies depending on the prediction horizon. Specifically, CGM-Basal-CHO was most effective for short-term (5-minute) and long-term (30-minute) predictions, and CGM-Basal-Bolus performed best for medium-term (15-minute) predictions. These results prove the importance of selecting parameter features that match the specific prediction horizon to improve model performance.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under Grant Number 222S488 and by the Health Institutes of Turkey (TUSEB) under Project No: 43858. The authors would like to thank TUBITAK and TUSEB for their support.

REFERENCES

- [1] D. Control, C. T. E. o. D. Interventions, and C. S. R. Group, "Intensive diabetes treatment and cardiovascular disease in patients with type 1 diabetes," *New England Journal of Medicine*, vol. 353, no. 25, pp. 2643-2653, 2005.
- [2] S. Oviedo, J. Vehí, R. Calm, and J. Armengol, "A review of personalized blood glucose prediction strategies for T1DM patients," *International journal for numerical methods in biomedical engineering*, vol. 33, no. 6, p. e2833, 2017.
- [3] J. E. Gerich, "The importance of tight glycemic control," *The American journal of medicine*, vol. 118, no. 9, pp. 7-11, 2005.
- [4] J. Xie and Q. Wang, "Benchmarking machine learning algorithms on blood glucose prediction for type I diabetes in comparison with classical time-series models," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 67, no. 11, pp. 3101-3124, 2020.
- [5] D. J. Joshi, I. Kale, S. Gandewar, O. Korate, D. Patwari, and S. Patil, "Reinforcement learning: A survey," in *Machine learning and information processing: Proceedings of ICMLIP 2020*, 2021: Springer, pp. 297-308.
- [6] F. AlMahamid and K. Grolinger, "Reinforcement learning algorithms: An overview and classification," in *2021 IEEE canadian conference on electrical and computer engineering (CCECE)*, 2021: IEEE, pp. 1-7.
- [7] M. Tejedor, A. Z. Woldaregay, and F. Godtliebsen, "Reinforcement learning application in diabetes blood glucose control: A systematic review," *Artificial intelligence in medicine*, vol. 104, p. 101836, 2020.
- [8] C. J. Watkins and P. Dayan, "Q-learning," *Machine learning*, vol. 8, pp. 279-292, 1992.
- [9] M. Halvorsen, K. D. Benam, H. Khoshamadi, and A. L. Fougner, "Blood glucose level prediction using subcutaneous sensors for in vivo study: Compensation for measurement method slow dynamics using kalman filter approach," in *2022 IEEE 61st conference on decision and control (CDC)*, 2022: IEEE, pp. 6034-6039.
- [10] C. Marling and R. Bunescu, "The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction: Update 2020," in *CEUR workshop proceedings*, 2020, vol. 2675, p. 71.

PERSONALIZED GLUCOSE PREDICTION FOR DIABETES MANAGEMENT WITH Q-LEARNING AND UNSCENTED KALMAN FILTER

Gözde Havin Fidan ¹, Ömer Atılım KOCA ², Bengü FETİLER³, Volkan KILIÇ ⁴

¹ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0000-9085-0858

² Izmir Bakircay University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0007-7286-678

³ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-4290-6471

⁴ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-3164-1981

ABSTRACT

Accurate glucose prediction is a key challenge in diabetes management, especially for the development of systems that can adapt to individual physiological patterns. Traditional models, such as the Extended Kalman Filter and the Unscented Kalman Filter (UKF), have been widely applied for glucose prediction. While these models are effective in handling nonlinear systems, their performance can be constrained in highly dynamic environments due to their reliance on linearization and fixed sampling techniques. To address these limitations, this study explores reinforcement learning (RL), which provides real-time feedback to adapt and improve predictions continuously. Specifically, the proposed hybrid model combines Q-Learning (QL), a type of RL that learns optimal actions through trial and error, with the UKF. This integration aims to enhance the accuracy and adaptability of glucose predictions by leveraging the strengths of both model-based and learning-based techniques. The proposed UKF-QL model is evaluated using the OhioT1DM dataset, which includes continuous glucose monitoring data, along with insulin and carbohydrate intake information. The results demonstrate that the hybrid model offers more accurate and robust glucose predictions, providing valuable insights for personalized diabetes management.

Key Words: Unscented Kalman Filter, Q-Learning, Reinforcement Learning, Diabetes Management.

13. INTRODUCTION

Type 1 diabetes mellitus (T1DM) is a chronic disease that causes hypoglycaemia (low glucose level) and hyperglycaemia (high glucose level) due to insulin deficiency [1]. T1DM management is crucial for minimizing the risks of hypoglycaemia and hyperglycaemia, maintaining stable glucose levels, and preventing long-term complications. Glucose monitoring is crucial for effective diabetes management, as maintaining optimal glucose levels requires regular measurement and assessment [2, 3]. However, traditional glucose monitoring methods are invasive, often uncomfortable, and provide only discrete glucose readings at specific times. The delay between measurement and corrective action makes individuals sensitive to the adverse effects of long-term high or low glucose levels. To address these limitations, non-invasive predictive models have been developed that can predict future glucose levels and allow

proactive intervention [4]. Kalman filtering techniques have emerged as valuable tools for glucose prediction. The standard Kalman filter (KF) predicts states in linear systems using discrete-time measurements. For nonlinear biological systems, including glucose metabolism, the Extended Kalman Filter (EKF) has been widely applied due to its use of first-order approximations to update state parameters [5]. While EKF-based models have improved prediction accuracy by filtering measurement noise and enabling short-term predictions, they show limitations in highly nonlinear contexts [6].

The Unscented Kalman Filter (UKF) represents an advancement over EKF through its deterministic sampling technique, which better captures system nonlinearity without requiring explicit linearization [7]. However, both EKF and UKF are challenged by large datasets, complex state spaces, and static noise parameters that fail to adapt over time. Machine learning (ML) addresses these limitations by offering data-driven models that can adapt without requiring explicit system models.

Sarker et al. utilized the K-Nearest Neighbours (KNN) algorithm for glucose prediction and demonstrated its successful application in T1DM diagnosis and patient analysis [8]. Their study revealed that KNN produced promising results in glucose prediction, further supporting the effectiveness of ML-based models in diabetes management. Georga et al. used support vector regression and compartmental models to quantify insulin absorption and the effects of exercise on glucose and insulin [9]. However, ML models typically require substantial data volumes for effective training, limiting their performance with smaller or irregular datasets common in individual patient monitoring. Reinforcement learning (RL) offers a promising alternative by continuously adapting prediction strategies based on real-time feedback. Unlike traditional models, RL iteratively learns from system interactions, making it well-suited for the dynamic complexities of glucose regulation. Through trial and error learning, RL optimizes actions such as insulin dosing recommendations or glucose trend predictions, continuously refining its approach based on observed outcome [10]. By continuously refining its strategies based on ongoing data, RL has the potential to improve prediction accuracy and adapt to changing conditions in real-time, making it a more flexible solution compared to traditional models that depend on large, static datasets. However, despite its adaptability, RL can suffer from instability, data inefficiency, and high variance, particularly in continuous, high-dimensional environments like glucose metabolism. These challenges can limit its predictive reliability, making it difficult to ensure consistent performance across different patients and conditions.

To address these limitations, this study introduces a novel hybrid model that integrates Q-Learning (QL), an RL technique, with the UKF to enhance glucose prediction accuracy.

The UKF effectively captures the nonlinear nature of glucose dynamics, while QL dynamically refines model parameters through interaction-based learning. The proposed model aims to improve adaptability and reliability in personalized glucose prediction, evaluated using the OhioT1DM dataset, which contains CGM data and information on insulin and carbohydrate intake. Results indicate that the proposed hybrid model offers significant improvements in accuracy and robustness, highlighting its potential for personalized diabetes management. The rest of this study is structured as follows: [Section 2](#) provides comprehensive details on the UKF-QL model, including its underlying principles. The performance comparison of the model

across different time horizons is presented in [Section 3](#). Finally, concluding remarks are presented in [Section 4](#).

14. METHOD

This section explores two fundamental components of the proposed model: the UKF and QL. Both play a crucial role in processing and analysing complex nonlinear systems, aiming to enhance state prediction accuracy and optimize action selection.

14.1. Unscented Kalman Filter

The UKF was developed to achieve higher accuracy in nonlinear systems. While the standard KF is suitable for linear systems, the UKF better models nonlinear dynamics. The UKF applies the Merwe Scaled Sigma Points method to make more accurate predictions in nonlinear systems. The basic components of the UKF include the state vector, covariance matrix, process noise matrix, and measurement noise matrix. The process noise matrix represents the inherent errors and uncertainties in the model predictions, while the measurement noise matrix represents the errors in the observed data. The state transition model predicts the state of the system over time using a transition matrix. The state prediction is updated based on the previous state and process noise. The measurement model compares the predicted state with the actual measurement, and it is adjusted accordingly. The measurement matrix ensures that only observable parameters are considered in the update step, and the model is modified based on each new measurement. The process noise matrix represents the uncertainties of the prediction model, providing different magnitudes of variability at each time step.

14.2. Q-Learning

QL is an RL algorithm that enables an agent to learn the best actions to take in different situations through experience. Unlike supervised learning, where a model learns from labeled data, QL operates by interacting with an environment, receiving feedback in the form of rewards, and improving its action selection over time. The fundamental goal of QL is to maximize long-term rewards by learning an optimal policy. At each step, the agent observes its current state, selects an action either by exploring new possibilities or exploiting past knowledge, executes the action, and receives a reward based on the effectiveness of that action. The agent then updates its Q-table, which stores the expected reward for each action taken in a given state. Over time, the Q-table is refined as more actions are taken and rewards are collected, resulting in a better selection of actions.

2.2.1 Q-Table

QL utilizes a Q-table as a memory structure to store knowledge about which parameter adjustments cause better outcomes. The table consists of three key components: states, actions, and Q-values. The state represents the current condition of the system, which is determined by relevant parameters. Since these parameters are continuous, they are categorized into predefined bins to create discrete states. Actions correspond to different choices for parameter adjustments, influencing the behaviour of the system. The Q-values store the expected rewards for different state-action pairs, guiding future action selection. At each step, the system evaluates performance by comparing predicted and actual outcomes, computing an error. Based on this error, an action is selected, adjusting relevant parameters accordingly. The system then

receives a reward: accurate adjustments earn high rewards, while poor ones receive penalties. An additional bonus is awarded for performance that improves over time. Using the Bellman equation, the Q-table is updated continuously, refining action selection. Through repeated interaction with the environment, the system learns the most effective parameter adjustments, dynamically adapting to different conditions and improving performance with each iteration.

14.3. The Proposed Model

The proposed hybrid model addresses a key limitation of the standard UKF, which is its dependence on fixed parameters throughout the prediction process. The integration of QL capabilities transforms these static parameters into dynamically adjustable components that respond to changing conditions. The QL algorithm systematically optimizes both process and measurement noise parameters based on prediction accuracy, allowing the model to self-calibrate when encountering new patterns in glucose dynamics. Following each prediction cycle, our system implements a reward-based evaluation mechanism that quantifies prediction error and adjusts the noise parameters accordingly. This adaptive framework enhances the ability of the UKF to capture nonlinear glucose fluctuations while remaining responsive to external factors such as meal timing, physical activity, and stress parameters that often challenge traditional predictive models. The hybrid UKF-QL model achieves greater predictive flexibility by continuously refining its internal parameters through RL.

15. EXPERIMENTAL EVALUATIONS

15.1. Dataset and Performance Metrics

The experimental evaluation was conducted using the OhioT1DM dataset, a comprehensive collection of diabetes-related data from type 1 diabetes patients.

The dataset includes 8 weeks of CGM, insulin administration, physiological sensor data, and self-reported life events for 12 individuals with type 1 diabetes [11]. The data includes CGM readings recorded at 5-minute horizons, providing high-frequency temporal data essential for accurate prediction modeling. For each patient, the dataset contains several key parameters beyond glucose measurements, including basal insulin doses, bolus insulin doses, and meal information.

To quantitatively assess prediction accuracy, various error metrics such as Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) were implemented to measure the deviation between predicted and actual glucose values.

The formulas for RMSE, MAE, and MAPE can be represented as follows:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2} \quad (1)$$

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i - \hat{z}_i| \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i} \right| \times 100 \quad (3)$$

where n is the number of the sample, (z_i) is the i –th actual value and $(\hat{z}_i)$ is the value of the prediction in all the three equations. RMSE measures prediction accuracy by calculating the square root of the average of squared differences between predicted and actual values. It assigns importance to larger errors, making it especially useful when the aim is to reduce significant deviations.

MAE measures the average absolute difference between the predicted and actual values, providing a more intuitive understanding of the precision of the prediction. MAPE expresses the error as a percentage of the actual value, allowing comparisons across different datasets, though it may be unreliable when actual values are close to zero. By analysing these metrics, the accuracy of predictions in relation to actual values is evaluated, providing insights that help identify areas for approach improvement.

15.2. Results and Discussion

This study focuses on evaluating and comparing the performance of UKF integrated with QL in the context of personalized glucose prediction. The primary objective is to investigate how different parameter combinations influence prediction accuracy across varying time horizons (5, 15, 30, 45, 60, and 90 minutes). The analysis incorporates single-parameter models using only CGM data, as well as multi-parameter models that integrate additional parameters such as basal insulin, bolus insulin, and carbohydrate intake (CHO).

The results obtained from Table 1 indicate that the performance of the glucose prediction models varies significantly depending on the time horizon. The table compares the accuracy of UKF-QL-based glucose predictions using different combinations of parameters. In the short-term, at 5, 15 and 30-minute horizons, the model using only CGM data gives the best results. However, as the time horizon extends from 5-minute to 30-minute predictions, the error increases rapidly.

<i>Method</i>	<i>5-MIN</i>			<i>15-MIN</i>			<i>30-MIN</i>		
<i>Parameter</i>	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
<i>One (CGM)</i>	3.76	2.17	1.46	9.94	6.51	4.35	15.60	10.61	7.16
<i>Two (CGM-Basal)</i>	4.02	2.33	1.56	10.14	6.67	4.45	16.91	11.79	7.95
<i>Two (CGM-Bolus)</i>	3.96	2.31	1.55	10.26	6.72	7.79	17.38	11.97	8.08
<i>Two (CGM-CHO)</i>	3.88	2.25	1.52	10.32	6.62	4.43	17.72	12.03	8.09
<i>Three (CGM-Basal-Bolus)</i>	3.76	2.18	1.47	9.97	6.60	4.40	17.02	11.77	7.96
<i>Three (CGM-Basal-CHO)</i>	3.91	2.28	1.54	10.09	6.68	4.46	17.37	12.00	8.03
<i>Three (CGM-Bolus-CHO)</i>	3.80	2.20	1.48	10.39	6.71	4.46	17.59	12.23	8.20
<i>Four (CGM-Basal-Bolus-CHO)</i>	3.91	2.28	1.53	9.99	6.56	4.34	17.61	12.37	8.30

Table 1: Comparison of UKF-QL based models across 5, 15, and 30-minute time horizons.

<i>Method</i>	<i>45-MIN</i>			<i>60-MIN</i>			<i>90-MIN</i>		
<i>Parameter</i>	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
<i>One (CGM)</i>	21.96	15.95	10.87	25.98	19.19	13.06	30.14	22.67	15.73
<i>Two (CGM-Basal)</i>	21.99	15.81	10.74	25.52	18.74	12.79	30.12	22.42	15.30
<i>Two (CGM-Bolus)</i>	21.65	15.72	10.64	24.84	18.46	12.57	30.31	22.79	15.72
<i>Two (CGM-CHO)</i>	22.49	16.05	10.88	25.68	18.85	12.91	31.07	23.13	15.83
<i>Three (CGM-Basal-Bolus)</i>	22.31	16.02	10.92	25.14	18.36	12.51	31.19	23.04	15.92
<i>Three (CGM-Basal-CHO)</i>	21.81	15.79	10.76	25.77	18.84	12.80	31.68	23.57	16.24
<i>Three (CGM-Bolus-CHO)</i>	22.59	16.39	11.12	26.33	19.34	13.31	31.88	23.53	16.44
<i>Four (CGM-Basal-Bolus-CHO)</i>	21.66	15.51	10.55	25.70	18.95	12.89	30.57	22.62	15.52

Table 2: Comparison of UKF-QL based models across 45, 60, and 90-minute time horizons.

As demonstrated in Table 2 the performance of different parameter combinations varies depending on the prediction horizon. For medium-term predictions (45 and 60 minutes), the CGM-Bolus, CGM-Basal-Bolus, and CGM-Basal-Bolus-CHO combinations provide the most accurate results. This suggests that bolus insulin has a significant role in glucose regulation over short-to-medium time horizons, making it a crucial factor for improving prediction accuracy. In addition, combining basal and bolus insulin improves performance due to their complementary effects on glucose dynamics. The inclusion of carbohydrate intake (CGM-Basal-Bolus-CHO) also contributes to better results, indicating that multiple factors influence glucose levels over these time horizons.

For long-term predictions (90 minutes), the CGM-Basal combination provides the most stable and accurate results. This suggests that basal insulin has a dominant long-term effect on glucose regulation, while the short-term influence of bolus insulin and carbohydrate intake diminishes over time. The inclusion of additional parameters may have a limited impact on long-term predictions, as the influence of insulin and carbohydrate intake begins to reduce over time.

16. CONCLUSION

This study proposes a novel hybrid UKF-QL model that addresses the challenge of glucose prediction across various time horizons. Our study shows that prediction accuracy is improved by adapting parameters based on the time horizon. It is observed that CGM data alone provides superior accuracy for short-term predictions, reflecting the natural autocorrelation in immediate glucose dynamics. As time horizon of prediction extend to medium horizons, incorporating bolus insulin and carbohydrate intake data becomes critical for maintaining predictive reliability. For longer-term predictions, basal insulin emerges as the dominant predictor parameter, highlighting its fundamental role in sustained glucose regulation. The QL component of our hybrid model enables automated

optimization of model parameters through its reward-based mechanism, allowing the UKF to adapt its predictive strategy based on observed error patterns. This integration of RL with KF represents a significant advancement over traditional static models. The proposed model achieves improved prediction accuracy by combining the structured prediction framework of UKF with the adaptive capabilities of QL. These findings highlight the potential of adaptive hybrid systems to support more personalized and effective models of diabetes management.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under Grant Number 222S488 and by the Health Institutes of Turkey (TUSEB) under Project No: 43858. The authors would like to thank TUBITAK and TUSEB for their support.

REFERENCES

- [1] A. Katsarou *et al.*, "Type 1 diabetes mellitus," *Nature reviews Disease primers*, vol. 3, no. 1, pp. 1-17, 2017.
- [2] E. Boland, T. Monsod, M. Delucia, C. A. Brandt, S. Fernando, and W. V. Tamborlane, "Limitations of conventional methods of self-monitoring of blood glucose: lessons learned from 3 days of continuous glucose sensing in pediatric patients with type 1 diabetes," *Diabetes care*, vol. 24, no. 11, pp. 1858-1862, 2001.
- [3] Y. Uwadaira *et al.*, "Logistic regression analysis for identifying the factors affecting development of non-invasive blood glucose calibration model by near-infrared spectroscopy," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 148, pp. 128-133, 2015.
- [4] P. Jain, A. Joshi, and S. Mohanty, "iGLU 4.0: a continuous glucose monitoring and balancing paradigm with physiological parameters," *arXiv preprint arXiv:2308.11952*, 2023.
- [5] Z. Mahmoudi, D. Boiroux, T. K. Ritschel, and J. B. Jørgensen, "Filtering and Prediction of the Blood Glucose Concentration using an Android Smart Phone and a Continuous Glucose Monitor," *arXiv preprint arXiv:1908.10234*, 2019.
- [6] E. J. Knobbe and B. Buckingham, "The extended Kalman filter for continuous glucose monitoring," *Diabetes technology & therapeutics*, vol. 7, no. 1, pp. 15-27, 2005.
- [7] E. Matsinos, "The Kalman Filter: a didactical overview," *arXiv preprint arXiv:1607.05590*, 2016.
- [8] I. H. Sarker, M. F. Faruque, H. Alqahtani, and A. Kalim, "K-nearest neighbor learning based diabetes mellitus prediction and analysis for eHealth services," *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems*, vol. 7, no. 26, pp. 1-9, 2020.
- [9] E. I. Georga, V. C. Protopappas, D. Polyzos, and D. I. Fotiadis, "Predictive modeling of glucose metabolism using free-living data of type 1 diabetic patients," in *2010 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 2010: IEEE, pp. 589-592.
- [10] L. Dénes-Fazakas, L. Szilágyi, L. Kovács, A. De Gaetano, and G. Eigner, "Reinforcement Learning: A Paradigm Shift in Personalized Blood Glucose Management for Diabetes," *Biomedicines*, vol. 12, no. 9, p. 2143, 2024.

- [11] C. Marling and R. Bunescu, "The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction: Update 2020," in *CEUR workshop proceedings*, 2020, vol. 2675, p. 71.

A HYBRID Q-LEARNING AND EXTENDED KALMAN FILTER APPROACH FOR REAL-TIME GLUCOSE PREDICTION IN DIABETES MANAGEMENT

Gözde Havin Fidan ¹, Ömer Atılım KOCA ², Bengü FETİLER³, Volkan KILIÇ ⁴

¹ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0000-9085-0858

² Izmir Bakircay University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0007-7286-678

³ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-4290-6471

⁴ Izmir Katip Celebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-3164-1981

ABSTRACT

Effective glucose management is essential for type 1 diabetes patients to minimize the risks of hyperglycaemia and hypoglycaemia. Continuous glucose monitoring systems have improved diabetes management by providing real-time glucose data. However, real-time monitoring alone is insufficient for early intervention, as patients remain at risk until the necessary action is taken based on glucose monitoring. To handle this issue, glucose prediction approaches have been developed, relying on historical data to enable proactive intervention and improved diabetes management. Representative methods include Kalman filtering and its extensions, such as the extended Kalman filter (EKF). However, these techniques have limitations in accurately handling nonlinear glucose dynamics and measurement noise. Recently, reinforcement learning (RL), a subfield of machine learning (ML), has emerged as an alternative method for glucose prediction. Among RL approaches, Q-learning (QL) relies on historical data to improve glucose prediction. However, ML-based approaches are typically trained on standardized datasets, which limits their ability to provide personalized predictions that accurately reflect the unique glucose-insulin interactions of individuals. To address this limitation, we propose a novel approach that integrates EKF with RL-based QL, enabling dynamic adaptation based on glucose data for each patient. The hybrid approach dynamically adjusts predictions based on the glucose data of each patient, resulting in improved prediction accuracy. The proposed hybrid approach leverages the noise-filtering capabilities of EKF while using QL to optimize its parameters based on real-time and historical patient data. Results the OhioT1DM dataset indicate that the proposed approach enhances predictive accuracy and adapts effectively to patient-specific glucose variations over time.

Key Words: Extended Kalman Filter, Q-Learning, Reinforcement Learning, Machine Learning.

17. INTRODUCTION

Type 1 diabetes is an autoimmune disease in which the immune system attacks and damages the beta cells in the pancreas, reducing their ability to produce sufficient insulin.

According to the International Diabetes Federation, in 2022, approximately 828 million adults aged 18 years and older had diabetes, marking an increase of 630 million since 1990 [1]. Insufficient glucose control can result in hypoglycaemia (low blood glucose) and hyperglycaemia (high blood glucose), which can cause serious health complications such as cardiovascular disease, stroke, hypertension, retinopathy, nephropathy, and neuropathy [2, 3]. Therefore, diabetes management requires regular monitoring and control to minimize these risks and ensure stable glucose regulation. The primary objective is to keep glucose levels stable within a normal range.

In recent years, technological innovations such as continuous glucose monitoring (CGM) systems have been critical for diabetes management, offering real-time glucose tracking and minimizing acute glycaemic risks. CGM provides frequent glucose data that assist type 1 diabetes patients in optimizing their insulin doses, dietary choices and physical activity. Despite this benefit, the effectiveness of CGM in preventing acute glycaemic events is limited by its inability to predict future glucose levels [4]. However, clinical research has demonstrated that combining CGM with predictive approaches, can improve diabetes management and reduce glycaemic events [5]. Among these predictive approaches, Kalman filtering techniques — including the standard Kalman filter (KF), extended Kalman filter (EKF), and unscented Kalman filter (UKF)— are widely used for prediction applications. While KF is suited for linear systems, EKF and UKF address nonlinearities with different approximation techniques [6]. Knobbe et al. developed an EKF-based approach to enhance CGM accuracy and improve glucose predictions by reducing noise in CGM data [7]. Although Kalman filtering techniques have proven effective in various applications, they have important limitations, particularly in highly nonlinear scenarios where they can produce less accurate predictions.

As a result, machine learning (ML) and deep learning (DL), sub-fields of artificial intelligence (AI), have gained popularity in glucose prediction for their ability to capture complex, nonlinear relationships without requiring explicit model assumptions [8]. DL-based approaches, including Long Short-Term Memory (LSTM), have been developed for glucose prediction in diabetes management. A multi-layer LSTM approach tested on the OhioT1DM dataset achieved successful results for a 30-minute prediction horizon [9]. However, DL approaches require high computational resources, extensive hyperparameter tuning, and resource-intensive inference. In contrast, ML approaches, such as reinforcement learning (RL), require less computational power and offer more efficient adaptation to individual patient data. Integrating RL with CGM systems enhances prediction accuracy while mitigating these challenges. RL can analyse large datasets to identify patterns and behaviours that traditional Kalman filtering techniques fail to capture. In addition, RL is employed to optimize glucose management, where the decision agent adjusts insulin doses based on real-time glucose measurements and external factors, aiming to achieve optimal glucose regulation and reduce the risk of diabetes-related complications [10]. RL approaches, particularly Q-learning (QL), can be used to develop a system that adapts to individual patient data and improves predictions over time. However, QL has some limitations, including data inefficiency, high variance, and instability due to the trial-and-error learning process. Its performance is also sensitive to the balance between exploration and exploitation, which can cause suboptimal parameter updates. To overcome these

challenges, we develop a prediction approach based on the EKF and QL (EKF-QL). The EKF-QL approach will combine the mathematical precision of EKF with the adaptive learning capabilities of QL to achieve more accurate and individually adaptive glucose predictions. In traditional approaches, the parameters that affect the prediction performance of EKF are usually determined experimentally and remain fixed during system operation, preventing EKF from adapting to changing conditions. In the proposed approach, QL is integrated to allow automatic optimization of EKF parameters and ensure adaptation to individual glucose dynamics.

This hybrid approach allows the predictive accuracy provided by continuous EKF measurements to be maintained while improving overall system performance through the adaptive learning capabilities of QL. The rest of the paper is structured as follows: [Section 2](#) provides comprehensive details on the EKF-QL approach, including its underlying principles. The comparison of the baseline and proposed approach is presented in [Section 3](#). Finally, concluding remarks are presented in [Section 4](#).

18. METHOD

This section introduces the explanation of two key components in the proposed approach: EKF and QL.

2.1 Q-Learning

QL is an RL algorithm that determines the optimal action selection policy through interactions with the environment. It updates the action value function based on observed rewards and predicted glucose levels, allowing the agent to learn an optimal decision strategy over time. To balance exploration and exploitation, the Boltzmann exploration strategy is used, where actions are selected probabilistically based on their predicted values. This strategy allows the agent to explore suboptimal actions while favouring those with higher expected rewards, improving learning efficiency and convergence.

2.1.1 Boltzmann Exploration Equation and Normalization of Q-values

QL balances exploration and exploitation to determine the most suitable action for a given state. Exploration allows the agent to discover new information by attempting different actions, while exploitation utilizes existing knowledge to maximize rewards. The Boltzmann exploration strategy is one approach to achieving this balance. It assigns probabilities to actions based on their Q-values, adjusted by a temperature parameter (ϵ). The fundamental equation for this strategy is as follows:

$$P(a_i) = \frac{\exp\left(\frac{Q(s, a_i)}{\epsilon}\right)}{\sum_j \exp\left(\frac{Q(s, a_j)}{\epsilon}\right)} \quad (1)$$

Boltzmann equation depends on the expected rewards of actions, known as Q-values, and ϵ , which controls the balance between exploration and exploitation. $P(a_i)$ represents the probability of selecting action in state s . This probability is weighted and standardized based on the $Q(s, a_i)$ value. The *exp*(exponential) function converts Q-values into positive weights, amplifying the differences between them and making actions with higher Q-values more dominant. The denominator, $\sum_j \exp\left(\frac{Q(s, a_j)}{\epsilon}\right)$, is the sum of the exponential weights of all

possible actions in the current state s . It ensures that the probabilities are properly normalized, such that the sum of probabilities for all actions equals one. The temperature parameter ϵ adjusts the level of randomness: a small ϵ value causes the agent to behave more deterministically by strongly choosing the highest Q -value action, while a large ϵ value introduces more randomness, allowing even actions with lower Q -values to have a meaningful probability of selection. Thus, the Boltzmann equation enables the agent to leverage past knowledge to make exploitation while exploring new possibilities. This balance ensures that the agent can achieve better rewards over time.

2.1.2 Shifting Q-values

Shifting Q -values is a technique used to improve numerical stability in calculations. Q -values represent the expected rewards of taking certain actions in a given state. However, large values can cause problems such as overflow or loss of precision in numerical calculations. To address this issue, Q -value shifting involves subtracting the maximum Q -value from each Q -value in a given state. This operation adjusts all Q -values to a smaller range, which helps prevent numerical instability during calculations. The relative differences between Q -values remain unchanged, ensuring that the learned policy stays the same. However, it reduces the risk of errors during probability and value calculations, causing more stable and reliable results. Shifting Q -values ultimately ensures that the learning process remains efficient and accurate, without being affected by extreme values that might disrupt computations.

2.1.3 Probability Calculation Using Shifted Q-values

The action selection probabilities are also recalculated using shifted Q -values. In this case, the probability of selecting an action is determined based on the shifted Q -values instead of the original ones. The shifted Q -values are adjusted to ensure the action selection is more reliable and minimize potential biases in the original Q -values. The parameter controlling the exploration-exploitation trade-off remains the same as in the original Boltzmann equation, allowing for the same balance between deterministic and random action selection. This recalculation provides a more robust method for action selection by addressing any inconsistencies or differences in the original Q -values.

2.2 Extended Kalman Filter

The EKF predicts the state of a nonlinear system by combining predictions and measurements over time. At each time step, the measurement of the system is related to its true state through a nonlinear function, with added measurement noise adjusting for errors in the process. The EKF gain matrix is calculated to determine how much the predicted state should be adjusted based on the new measurement. This matrix is derived using the predicted error covariance, the Jacobian matrix, and the measurement noise covariance [11].

The Jacobian matrix provides a linear approximation of a nonlinear measurement function, mapping how small changes in the state affect measurements. It quantifies the sensitivity of measurements to state parameters, which is crucial for converting the nonlinear measurement model into a linear form, allowing the EKF to operate effectively.

Once the EKF gain is computed, the state prediction is updated by adding a correction term. This term represents the difference between the actual and predicted measurements, scaled by the EKF gain. This update improves the prediction of the state. Additionally, the error covariance matrix is updated to reflect the uncertainty in the predicted state after the correction.

The error covariance provides a measure of confidence in the updated prediction, with higher values indicating greater uncertainty. The process iterates over time, continuously refining the state prediction by incorporating both the predicted state and new measurements while adjusting for the uncertainties in the approach and measurements.

2.3 Proposed Extended Kalman Filter and Q-Learning Hybrid Approach

The proposed hybrid approach combines EKF with QL to improve glucose level predictions. EKF is a filtering technique that predicts glucose levels over time based on process noise (Q) and measurement noise (R), which are crucial parameters for its accuracy. However, these parameters are typically kept constant, limiting the adaptability of the approach to different conditions. To address this issue, QL dynamically optimizes Q and R values, allowing the system to adjust to varying physiological states. At each prediction step, the error between the predicted and actual glucose levels is calculated, a state is defined based on this error and selects the optimal Q and R values using a Q-table. These values are used in the EKF to make a new prediction. The error from this prediction is used to compute a reward, which updates the Q-table, enabling the approach to continuously refine its noise parameters over time. As a result, this hybrid approach creates a more robust and adaptive glucose prediction system, capable of handling sensor inaccuracies and individual patient variations effectively.

19. EXPERIMENTAL EVALUATIONS

19.1. Dataset and Performance Metrics

The experimental evaluation was conducted using the OhioT1DM dataset, a comprehensive collection of diabetes-related data from type 1 diabetes patients.

The dataset includes 8 weeks of CGM, insulin administration, physiological sensor data, and self-reported life events for 12 individuals with type 1 diabetes [12]. The data includes CGM readings recorded at 5-minute horizons, providing high-frequency temporal data essential for accurate prediction modelling. For each patient, the dataset contains several key parameters beyond glucose measurements, including basal insulin doses, bolus insulin doses, and meal information.

To quantitatively assess prediction accuracy, various error metrics such as Root Mean Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Mean Absolute Percentage Error (MAPE) were implemented to measure the deviation between predicted and actual glucose values.

The formulas for RMSE, MAE, and MAPE can be represented as follows:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (z_i - \hat{z}_i)^2} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |z_i - \hat{z}_i| \quad (3)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{z_i - \hat{z}_i}{z_i} \right| \times 100 \quad (4)$$

where n is the number of the sample, (z_i) is the i –th actual value and $(\hat{z}_i)$ is the value of the prediction in all of the three equations. RMSE measures prediction accuracy by calculating the square root of the average of squared differences between predicted and actual values. It assigns importance to larger errors, making it especially useful when the aim is to reduce significant deviations.

MAE measures the average absolute difference between the predicted and actual values, providing a more intuitive understanding of the precision of the prediction. MAPE expresses the error as a percentage of the actual value, allowing comparisons across different datasets, though it may be unreliable when actual values are close to zero. By analysing these metrics, the accuracy of predictions in relation to actual values is evaluated, providing insights that help identify areas for approach improvement.

3.2 Result and Discussion

The EKF and EKF-QL hybrid approaches in personalized glucose prediction were evaluated for performance comparison. The objective is to investigate how these approaches and parameter combinations influence prediction accuracy across varying time horizons (5, 15, 30, 45, 60, and 90 minutes). The analysis incorporates single-parameter approaches using only CGM data and multi-parameter approaches that integrate additional parameters such as basal insulin, bolus insulin, and carbohydrate intake (CHO). Table 1 compares the performance of the EKF and the EKF-QL hybrid approach in short-term predictions (5, 15 and 30 minutes). For the 5-minute predictions, the best performance was obtained with the two (CGM-Basal) parameters and the EKF approach. This combination provided the lowest error rates, including an RMSE of 3.25, an MAE of 1.85, and a MAPE of 1.29, demonstrating its effectiveness. The EKF approach, using all parameters (CGM, Basal, Bolus, CHO), achieved the best performance, particularly for 15-minute predictions, with RMSE, MAE, and MAPE values of 7.25, 4.92, and 3.47, respectively. These results show that the EKF performs better for short-term predictions and has lower error rates compared to the EKF-QL hybrid approach. For 30-minute predictions, the best result was obtained with the EKF using CGM, basal insulin, and CHO parameters. For this approach, the RMSE was 15.60, the MAE was 10.54, and the MAPE was 7.38, indicating the performance of the approach. In short, the EKF gives better results in short-term predictions, but the error rate of the EKF increased rapidly and the accuracy of the prediction decreased significantly.

According to Table 2, the EKF-QL hybrid approach with a single parameter (CGM) resulted in the lowest error values for 45-minute predictions, with RMSE, MAE, and MAPE calculated as 20.35, 14.61, and 10.00, respectively. This result shows that the EKF using only CGM data and combined with QL is successful in the 45-minute prediction. In particular, this approach had the lowest error rates despite the addition of other parameters. For the 60-minute predictions, the best performance was obtained with the EKF-QL hybrid approach with three parameters (CGM-basal-bolus). The RMSE for this approach was 25.67, the MAE was 18.86, and the MAPE was 12.78, reflecting the accuracy of the approach. This result shows that the addition of insulin data instead of CGM alone provides a significant advantage in medium-term predictions. In particular, the inclusion of basal and bolus insulin data improved prediction

Method		5-MIN			15-MIN			30-MIN		
Parameter	Approach	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
One (CGM)	EKF	5.22	3.31	2.29	13.39	8.71	5.99	26.73	17.40	11.97
	EKF-QL	3.72	2.15	1.45	9.24	5.98	4.03	17.19	11.90	7.99
Two (CGM-Basal)	EKF	3.25	1.85	1.29	7.80	5.07	3.50	17.45	11.41	7.86
	EKF-QL	3.90	2.27	1.53	10.15	6.71	4.51	16.91	11.76	7.98
Two (CGM-Bolus)	EKF	3.25	1.86	1.29	7.80	5.07	3.50	17.47	11.43	7.86
	EKF-QL	3.90	2.27	1.53	10.09	6.65	4.44	17.07	11.82	7.94
Two (CGM-CHO)	EKF	3.34	1.90	1.32	7.90	5.13	3.54	17.59	11.50	7.92
	EKF-QL	3.79	2.19	1.48	10.16	66.8	4.46	17.04	12.03	8.11
Three (CGM-Basal-Bolus)	EKF	5.62	3.37	2.36	8.81	5.81	4.06	17.47	11.72	8.14
	EKF-QL	3.85	2.30	1.55	10.27	6.72	4.50	17.42	12.25	8.23
Three (CGM-Basal-CHO)	EKF	4.96	3.00	2.10	9.60	6.34	4.40	19.51	12.97	8.97
	EKF-QL	3.54	2.07	1.38	9.99	6.66	4.56	17.72	12.30	8.28
Three (CGM-Bolus-CHO)	EKF	4.96	3.00	2.10	9.60	6.34	4.40	19.51	12.97	8.97
	EKF-QL	3.70	2.16	1.46	9.04	5.99	4.03	16.41	11.53	7.71
Four (CGM-Basal-Bolus-CHO)	EKF	3.36	2.09	1.49	7.25	4.92	3.47	15.60	10.54	7.38
	EKF-QL	3.80	2.21	1.48	10.40	6.90	4.64	17.08	11.84	8.05

Table 1: Comparison of EKF and EKF-QL hybrid approaches across 5, 15, 30-minute time horizons.

accuracy and reduced error rates. The best results for 90-minute predictions were obtained with the EKF-QL hybrid approach using a single parameter (CGM), with RMSE, MAE, and MAPE values of 30.17, 22.68, and 15.58, respectively. This indicates that CGM data alone may be sufficient for long-term predictions, but QL plays a critical role in reducing error rates.

In general, the use of CGM data alone gives the best results in short- and long-term predictions, while the addition of insulin data in medium-term predictions improves prediction accuracy. In addition, QL is observed to significantly reduce error rates at all prediction times of 45, 60, and 90 minutes. It can be said that the margin of error of the traditional EKF method increases rapidly, especially in medium-term and long-term predictions, but QL balances this

increase and provides more successful predictions. These results show that different data combinations should be preferred depending on the prediction period and that ML approaches offer significant contributions to traditional approaches.

Method		5-MIN			15-MIN			30-MIN		
Parameter	Approach	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE	RMSE	MAE	MAPE
One (CGM)	EKF EKF-QL	40.2	26.16	17.9	53.78	34.	24.02	80.90	52.52	36.11
		3		9		84				
		20.3		10.0		18.				
		5		0		98				
Two (CGM-Basal)	EKF EKF-QL	27.4	17.91	12.3	37.41	24.	16.81	57.48	37.50	25.80
		0		2		43				
		22.8		11.1		19.				
		6		6		04				
Two (CGM-Bolus)	EKF EKF-QL	27.4	17.93	12.3	37.43	24.	16.82	57.52	37.54	22.82
		2		3		45				
		22.3		11.0		19.				
		6		6		56				
Two (CGM-CHO)	EKF EKF-QL	27.5	18.02	12.4	37.61	24.	16.91	57.75	37.70	25.93
		7		0		57				
		22.2		11.0		19.				
		6		4		21				
Three (CGM-Basal-Bolus)	EKF EKF-QL	26.8	18.06	12.5	36.48	24.	16.98	55.83	37.53	25.97
		9		2		52				
		22.1		10.7		18.				
		8		2		86				
Three (CGM-Basal-CHO)	EKF EKF-QL	29.8	19.88	13.73	40.36	26.86	18.54	61.44	40.88	28.20
		8		11.14		19.77				
		22.7								
		5								
Three (CGM-Bolus-CHO)	EKF EKF-QL	29.8	19.90	13.72	40.38	26.88	18.56	61.47	40.91	28.22
		9		11.42		19.64				
		23.9								
		7								
Four (CGM-Basal-Bolus-CHO)	EKF EKF-QL	24.2	16.34	11.41	32.99	22.18	15.47	50.51	33.87	23.60
		6		10.58		19.01				
		21.8								
		9								

Table 2: Comparison of EKF and EKF-QL hybrid approaches across 45, 60, 90-minute time horizons.

20. CONCLUSION

This study presents a hybrid approach integrating QL with the EKF to enhance real-time glucose prediction for personalized diabetes management. The results highlight the varying effectiveness of EKF and the EKF-QL hybrid approach on different prediction horizons. While the EKF approach demonstrates superior performance for short-term predictions, its accuracy declines significantly as the prediction horizon extends. In contrast, the integration of QL demonstrates a crucial factor in enhancing prediction accuracy, particularly for medium-term and long-term predictions. For medium-term predictions, combining insulin data with CGM measurements results in significant improvements, highlighting the importance of multi-parameter analysis modelling. On the other hand, long-term predictions benefit most from using only CGM data, with QL effectively limiting the error growth observed in the EKF approach. Furthermore, hybrid approach demonstrates strong performance in long prediction horizons, even using a single parameter, underscoring its adaptability and effectiveness in extended predictions. Overall, the results indicate that EKF is well-suited for short-term predictions, whereas QL integration significantly enhances accuracy for longer horizons. These results highlight the need for adaptive modelling strategies where parameter selection and ML integration should be optimized for the prediction time horizon.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under Grant Number 222S488 and by the Health Institutes of Turkey (TUSEB) under Project No: 43858. The authors would like to thank TUBITAK and TUSEB for their support.

REFERENCES

- [1] D. J. Magliano and E. J. Boyko, "IDF diabetes atlas," 2022.
- [2] J. E. Gerich, "The importance of tight glycemic control," *The American journal of medicine*, vol. 118, no. 9, pp. 7-11, 2005.
- [3] O. H. Franco, E. W. Steyerberg, F. B. Hu, J. Mackenbach, and W. Nusselder, "Associations of diabetes mellitus with total life expectancy and life expectancy with and without cardiovascular disease," *Archives of internal medicine*, vol. 167, no. 11, pp. 1145-1151, 2007.
- [4] M. Şen *et al.*, "Colorimetric detection of H₂O₂ with Fe₃O₄@ Chi nanozyme modified μ PADs using artificial intelligence," *Microchimica Acta*, vol. 189, no. 10, p. 373, 2022.
- [5] R. W. Beck *et al.*, "Effect of continuous glucose monitoring on glycemic control in adults with type 1 diabetes using insulin injections: the DIAMOND randomized clinical trial," *Jama*, vol. 317, no. 4, pp. 371-378, 2017.
- [6] E. Matsinos, "The Kalman Filter: a didactical overview," *arXiv preprint arXiv:1607.05590*, 2016.
- [7] E. J. Knobbe and B. Buckingham, "The extended Kalman filter for continuous glucose monitoring," *Diabetes technology & therapeutics*, vol. 7, no. 1, pp. 15-27, 2005.

- [8] Ş. A. Akosman, M. Öktem, Ö. T. Moral, and V. Kılıç, "Deep learning-based semantic segmentation for crack detection on marbles," in *2021 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2021: IEEE, pp. 1-4.
- [9] Ö. A. Koca and V. Kılıç, "Multi-Parametric Glucose Prediction Using Multi-Layer LSTM," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 52, pp. 169-175, 2023.
- [10] M. Tejedor, A. Z. Woldaregay, and F. Godtliebsen, "Reinforcement learning application in diabetes blood glucose control: A systematic review," *Artificial intelligence in medicine*, vol. 104, p. 101836, 2020.
- [11] R. E. Kalman, "A new approach to linear filtering and prediction problems," 1960.
- [12] C. Marling and R. Bunescu, "The OhioT1DM dataset for blood glucose level prediction: Update 2020," in *CEUR workshop proceedings*, 2020, vol. 2675, p. 71.

CLASSIFICATION OF CHEST X-RAY IMAGES USING VISION TRANSFORMER

Mustafa Melik AYANOĞLU¹, Bengü FETİLER², Ömer Atılım KOCA³,

Volkan KILIÇ⁴

¹ Izmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0006-9406-7960

² Manisa Celal Bayar University, Faculty of Computer Information Sciences, 0000-0002-4290-6471

³ Izmir Bakircay University, Faculty of Engineering and Architecture, 0009-0007-7286-6785

⁴ Izmir Katip Çelebi University, Faculty of Engineering and Architecture, 0000-0002-3164-1981

ABSTRACT

The automatic classification of chest X-ray images has attracted an increasing amount of attention in the last decade due to its potential in rapid and accurate identification of pulmonary conditions. However, in earlier studies, several challenges are associated with this classification task, including image quality, overlapping anatomical structures, and complex pathological characteristics. These challenges are limited the model performance and effectiveness in accurately classifying pulmonary conditions. Therefore, transformer-based deep learning models have been utilized to overcome these challenges recently for medical image classification. This study aims to classify diseases in X-ray images using the Vision Transformer (ViT) model, which processes images as patch sequences and captures detailed features essential for diagnosing lung diseases. Moreover, the attention mechanisms of ViT are employed to focus on relevant pathological features, thereby improving classification performance compared to traditional convolutional neural networks. Experimental results on the IU-Xray dataset demonstrate the advantage of the proposed model in interpretations of the visual patterns associated with different pulmonary diseases, leading to enhanced diagnostic processes in clinical settings.

Keywords: Image Classification, Transformer, Attention Mechanism, Vision Transformer

1. INTRODUCTION

Medical images represent a fundamental resource for the diagnosis and treatment of various diseases, such as pneumonia, tuberculosis, chronic restrictive pulmonary disease and pneumothorax, providing valuable insights to healthcare professionals. However, identification of the corresponding diagnoses within these images can be both a challenge and a time-consuming process. In this context, artificial intelligence techniques, particularly in image classification, have been proven to be a robust method for generating descriptive textual information from medical images in recent years (Sermesant et al., 2021), (Gurgitano et al., 2021), (Belikova et al., 2021). Early efforts in medical image classification often use Artificial Neural Networks (ANN) developed as mathematical model generalizations of biological nervous systems (Abraham, 2005), (Deepa et al., 2011) However, traditional ANN architectures have challenges in effectively processing complex and high-dimensional data despite the fact that their ability to automatically learn and extract meaningful features from large raw dataset.

These challenges include abnormality-related textures or edges, rare diseases, complex anatomical structures, and image quality artifacts. As a result, more advanced deep learning-based methods have been adopted, building upon the foundational principles of ANNs while introducing new mechanisms to process larger datasets and capture complex patterns more efficiently (Shamshad et al., 2023), (Liu et al., 2023), (Patel & Goyal, 2007). In particular, Convolutional Neural Networks (CNN) and Recurrent Neural Networks (RNN) based models are frequently utilized among deep learning methods. However, CNNs and RNNs have significant limitations on medical image classification tasks. CNNs are generally powerful at detecting and learning local features, whereas they have difficulties understanding long-term relationships (Roodschild et al., 2020), (Noh, 2021). On the other hand, RNNs are designed to process time-varying information, but their parallel processing capacity may be limited, and they can be costly in terms of time during training processes (Karita et al., 2019), (Ibrahim et al., 2021), (Abbas et al., 2021). Therefore, recent studies on medical image classification have used transformer-based frameworks to overcome these limitations (Vaswani et al., 2017), (Han et al., 2022). The fundamental concept in transformer-based frameworks is to divide a larger image into smaller patches, addressing each patch individually. The extracted patches go through a series of operations, being evaluated both individually and as a whole, to produce an output representing a class of disease. Besides, attention mechanisms in transformer-based frameworks can effectively process long-term dependencies (Yang, 2020). Additionally, transformers utilize hardware resources such as GPUs more efficiently in terms of time due to their parallel processing capabilities. This demonstrates that transformer-based frameworks deliver high performance on large datasets in less time.

This study proposes a Vision Transformer (ViT) based classification approach to evaluate medical image data within a more comprehensive understanding. A dataset containing medical images was classified using different seed numbers, followed by fine-tuning. The results were evaluated using 11 different performance metrics.

The rest of this paper is organized as follows: Section 2 introduces proposed transformer-based classification model. Section 3 presents the dataset, performance metrics, and results. The conclusion is given in Section 4.

2. THE PROPOSED APPROACH

This section introduces the image classification approach using the Vision Transformer (ViT), with the methodology illustrated in Figure 1.

The image classification model processes an image as input and outputs a prediction indicating the class associated with that image. In the process, input image is divided into smaller image patches and each image patch is passed through embedding layers. The features from each patch are extracted and subsequently converted into a vector format. The vectors are processed through a linear projection. This process involves a matrix multiplication that expresses each vector in a higher-dimensional space. Representing the feature vectors in a wider space enables the model to learn more complex dependencies. The self-attention mechanism is used to comprehend the relationships between flattened and other vectors. Multi-head attention is a

process that is carried out in parallel using several different attention heads. After each self-attention operation, a layer normalization process is applied to the obtained features and then features are transmitted to a feed-forward layer. The representations obtained for each position in the output of the encoder are passed through a linear layer. This layer transforms the representations into a vector of a dimension compatible with the number of classes. The output vector obtained from the linear layer employs processing through the SoftMax activation function, which transforms the values within the vector into probabilities. The cell with the highest probability is selected, and its associated class is output.

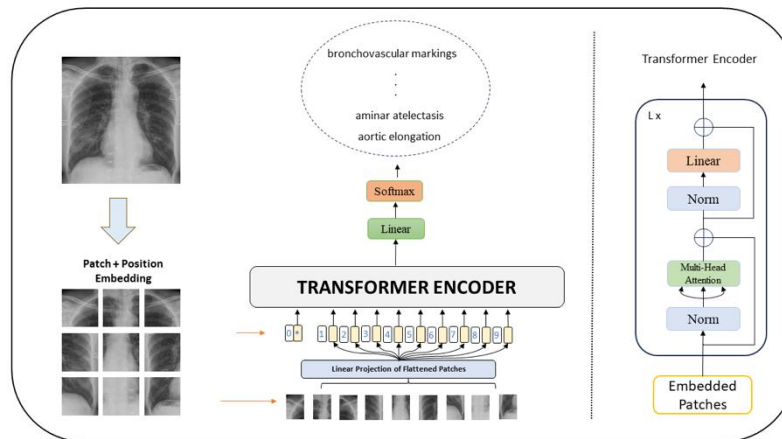


Figure 1. The Proposed Chest X-Ray Classification Approach

3. EXPERIMENTAL EVALUATIONS

In this section, we assess the performance of our proposed approach using the IU-Xray Chest Dataset.

3.1. DATASET AND PERFORMANCE METRICS

In the proposed approach, the evaluation was performed using a dataset containing chest X-ray images. The IU-Xray chest dataset includes data from 3955 patients and 13 different disease classes. These diseases are enlarged cardio mediastinum, cardiomegaly, airspace opacity, lung lesion, edema, consolidation, pneumonia, atelectasis, pneumothorax, pleural effusion, pleural (other), fracture, support devices, respectively.

The performance of the model is evaluated using 11 specific metrics that provide a comprehensive assessment of its classification capabilities. These metrics include True Negative (TN), the number of negative instances correctly predicted as negative, and False Positive (FP), denoting the number of negative instances incorrectly estimated as positive. Similarly, False Negative (FN) measures the number of positive instances misclassified as negative, while True Positive (TP) counts the positive instances correctly identified. The overall correctness of predictions is computed by Accuracy, which is the ratio between true positive and true negative predictions to the total instance number. Precision focuses on the proportion of instances predicted as positive that are truly positive, whereas Sensitivity (Recall) measures the rate at which truly positive instances are correctly identified. Conversely, Specificity

evaluates the proportion of truly negative instances correctly classified. Kappa provides a normalized metric to evaluate the consistency between observed and expected accuracy, effectively accounting for random chance. The F1 Score combines Precision and Sensitivity into a single metric by calculating their harmonic meaning, effectively balancing false positives and false negatives. AUC (Area Under the Curve) assesses the ability of model to distinction between classes based on the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. Finally, the Final Score serves as a composite performance metric, computed as the average of Accuracy, Precision, Sensitivity, Specificity, Kappa, F1 Score, and AUC, providing a comprehensive evaluation of the model effectiveness.

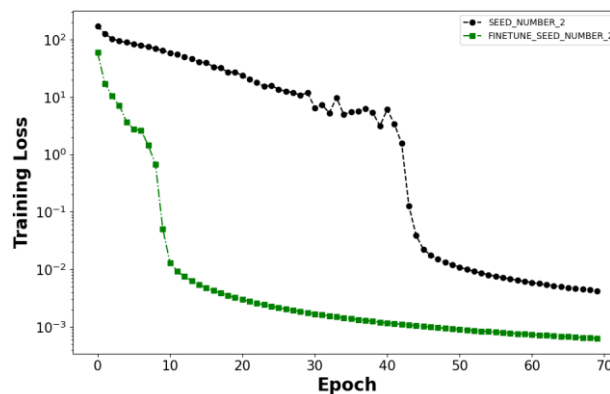


Figure 2. Comparison of Training Loss for Initial and Fine-Tuned Model (Seed Number 2)

3.2. RESULTS AND DISCUSSION

Table 1 comprehensively evaluates the classification results obtained with different seed numbers and fine-tuned models. The model was retrained with the data reserved for the fine-tuning operation. After the fine-tuning operation was completed, the model was tested on the validation dataset. It was possible to evaluate the model on a separate dataset from the general dataset. The model obtained with seed number 1 demonstrates a high accuracy rate of 0.86, complemented by a precision of 0.86 and a specificity of 0.93. Similarly, models obtained with seed numbers 2 and 3 also demonstrate robust and consistent performance. The experimental results demonstrate that fine-tuned models have generally demonstrated higher performance. Additionally, the model obtained with seed numbers 2 and 4 exhibits remarkably high accuracy, precision and specificity values. The model also provides reliable performance, with high Kappa values of 0.89 and 0.88, respectively. The highest final score achieved by the model with seed number 2 in the fine-tuning operation suggests that the model has adapted well to the dataset and performed optimally in the classification task. As illustrated in Figure 2 the loss value of the model decreased significantly during the training process as the number of epochs increased. These results demonstrate that the model achieves accurate predictions.

Model	TN	FP	FN	TP	Accuracy	Precision	Sensitivity	Specificity	Kappa	F1	AUC	Final
SEED_1	173	61	26	364	0.86	0.86	0.93	0.74	0.69	0.86	0.84	0.80
SEED_2	177	57	27	363	0.87	0.86	0.93	0.76	0.71	0.87	0.84	0.80
SEED_3	184	50	25	365	0.88	0.88	0.94	0.79	0.74	0.88	0.86	0.83
SEED_4	179	55	42	348	0.84	0.86	0.89	0.76	0.66	0.84	0.83	0.78
SEED_5	185	49	37	353	0.86	0.88	0.91	0.79	0.70	0.86	0.85	0.80
FINETUNED_1	174	60	2	388	0.90	0.87	0.99	0.74	0.78	0.90	0.87	0.85
FINETUNED_2	194	40	4	386	0.93	0.91	0.99	0.83	0.84	0.93	0.91	0.89
FINETUNED_3	161	73	1	389	0.88	0.84	0.96	0.69	0.73	0.88	0.84	0.82
FINETUNED_4	186	48	2	388	0.92	0.89	0.99	0.79	0.82	0.92	0.89	0.88
FINETUNED_5	163	71	1	389	0.88	0.85	1.0	0.70	0.74	0.88	0.85	0.82

Table 1. Chest X-ray Classification Performance Metric Results

4. CONCLUSION

In this paper, we present a transformer-based model to classify medical images. The features of medical images were extracted using a ViT. The features obtained at the end of the process are used for classification. This method provides a basis for extracting and then classifying semantic features of images, so that more accurate and effective results can be obtained. The evaluation of this approach was conducted on the IU-Xray Chest datasets.

The model was then evaluated using different performance metrics. Accordingly, the fine-tuned model with seed number 2 demonstrated the highest performance. Future research includes improving the generalization ability of the model and enhancing the robustness of it by testing it on larger and varied datasets. Applying the same model to a larger dataset can enhance learning and improve generalization, allowing it to identify a wider range of patterns and features in medical images.

5. REFERENCES

- Abbas, A., Abdelsamea, M. M., & Gaber, M. M. (2021). Classification of COVID-19 in chest X-ray images using DeTraC deep convolutional neural network. *Applied Intelligence*, 51, 854–864.
- Abraham, A. (2005). Artificial neural networks. *Handbook of Measuring System Design*.
- Belikova, K., Rogov, O. Y., Rybakov, A., Maslov, M. V., & Dylov, D. V. (2021). Deep negative volume segmentation. *Scientific Reports*, 11(1), 16292.
- Deepa, S. N., Devi, B. A., & others. (2011). A survey on artificial intelligence approaches for medical image classification. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(11), 1583–1595.
- Gurgitano, M., Angileri, S. A., Rodà, G. M., Liguori, A., Pandolfi, M., Ierardi, A. M., Wood, B. J., & Carrafiello, G. (2021). Interventional Radiology ex-machina: Impact of Artificial Intelligence on practice. *La Radiologia Medica*, 126, 998–1006.
- Han, K., Wang, Y., Chen, H., Chen, X., Guo, J., Liu, Z., Tang, Y., Xiao, A., Xu, C., Xu, Y., & others. (2022). A survey on vision transformer. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 45(1), 87–110.
- Ibrahim, A. U., Ozsoz, M., Serte, S., Al-Turjman, F., & Yakoi, P. S. (2021). Pneumonia classification using deep learning from chest X-ray images during COVID-19. *Cognitive Computation*, 1–13.
- Karita, S., Chen, N., Hayashi, T., Hori, T., Inaguma, H., Jiang, Z., Someki, M., Soplin, N. E. Y., Yamamoto, R., Wang, X., & others. (2019). A comparative study on transformer vs rnn in speech applications. *2019 IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU)*, 449–456.
- Liu, Z., Lv, Q., Yang, Z., Li, Y., Lee, C. H., & Shen, L. (2023). Recent progress in transformer-based medical image analysis. *Computers in Biology and Medicine*, 107268.
- Noh, S.-H. (2021). Analysis of gradient vanishing of RNNs and performance comparison. *Information*, 12(11), 442.
- Patel, J. L., & Goyal, R. K. (2007). Applications of artificial neural networks in medical science. *Current Clinical Pharmacology*, 2(3), 217–226.
- Roodschild, M., Gotay Sardiñas, J., & Will, A. (2020). A new approach for the vanishing gradient problem on sigmoid activation. *Progress in Artificial Intelligence*, 9(4), 351–360.

- Sermesant, M., Delingette, H., Cochet, H., Jais, P., & Ayache, N. (2021). Applications of artificial intelligence in cardiovascular imaging. *Nature Reviews Cardiology*, 18(8), 600–609.
- Shamshad, F., Khan, S., Zamir, S. W., Khan, M. H., Hayat, M., Khan, F. S., & Fu, H. (2023). Transformers in medical imaging: A survey. *Medical Image Analysis*, 102802.
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- Yang, X. (2020). An overview of the attention mechanisms in computer vision. *Journal of Physics: Conference Series*, 1693(1), 12173.
-

INTEGRATION OF GROUNDWATER PARAMETERS INTO SEISMIC LIQUEFICATION ASSESSMENTS WITH PMR TECHNOLOGY

Güven Doğan

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

e-posta: belismuhendislik@gmail.com ORCID: 0009-0004-2658-4160

Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

e-posta: obektas@cumhuriyet.edu.tr ORCID: 0000-0001-5232-4654

ÖZET

Zemin sıvılaşması, özellikle doymuş ve kohezyonsuz zeminlerde depremler sırasında oluşan geçici taşıma gücü kaybı ile karakterize edilen, mühendislik açısından kritik bir fenomendir. Bu olgu, artan boşluk suyu basıncıyla birlikte, zemin taneleri arasındaki efektif gerilmenin azalması sonucu zeminin sıvı gibi davranmasına neden olur. Bu çalışmada, Proton Manyetik Rezonans (PMR) tekniği kullanılarak bu tür riskli zeminlerde yer altı suyu ile ilişkili hidrojeofizik özellikler değerlendirilmiştir. PMR yöntemi, yer altındaki suya duyarlı manyetik rezonans sinyalleri yoluyla gözenek yapısı, doymunluk düzeyi ve serbest su miktarı gibi parametreleri doğrudan ölçebilen benzersiz bir teknolojidir. Çalışma alanı olarak seçilen bölgelerde yüzey tabanlı PMR ölçümleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sinyallerin bozunma süreleri ve genlikleri üzerinden su içeriği dağılımları analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, aynı lokasyonda yapılan sondaj loglarıyla karşılaştırılarak yöntemin doğruluğu ve saha uyumu değerlendirilmiştir. PMR'nin özellikle sığ derinliklerde gözenek suyu hakkında sağladığı yüksek çözünürlüklü bilgiler, zeminlerin sıvılaşma eğilimini belirlemede önemli avantajlar sunmaktadır. Sonuçlar, PMR yönteminin hem mühendislik jeofiziği uygulamalarında hem de zemin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde güçlü ve güvenilir bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler : Zemin sıvılaşması, PMR, gözenek suyu, hidrojeofizik, jeoteknik risk analizi

ABSTRACT

Soil liquefaction is a critical phenomenon in engineering terms, characterized by temporary loss of bearing capacity, especially in saturated and cohesionless soils during earthquakes. This phenomenon causes the soil to behave like a liquid as a result of the decrease in effective stress between soil grains with increasing pore water pressure. In this study, hydrogeophysical properties related to groundwater in such risky soils were evaluated using the Proton Magnetic Resonance (PMR) technique. The PMR method is a unique technology that can directly measure parameters such as pore structure, saturation level and free water amount via magnetic resonance signals sensitive to underground water. Surface-based PMR measurements were carried out in the regions selected as the study area, and water content distributions were analyzed via decay times and amplitudes of the obtained signals. The obtained data were compared with the drilling logs made at the same location and the accuracy and field compatibility of the method were evaluated. The high-resolution information provided by PMR, especially at shallow depths, about pore water offers significant advantages in determining the liquefaction tendency of soils. The results show that the PMR method is a powerful and reliable alternative in both engineering geophysical applications and in the assessment of soil liquefaction potential.

Keywords: Soil liquefaction, PMR, pore water, hydrogeophysics, geotechnical risk analysis

1. INTRODUCTION

Soil liquefaction is one of the more destructive effects that can occur during earthquakes, especially in areas with loose, water-saturated soils. When seismic waves travel through the ground, they cause soil particles to shake and shift. In saturated soils, this movement forces particles closer together, but the water between them doesn't have enough time to escape. As a result, pore water pressure builds up quickly, reducing the contact forces between grains. When this pressure gets high enough, the soil can lose its strength and behave more like a liquid than a solid. This sudden shift in behavior is what we call liquefaction (Büyüksaraç et al., 2018).

Proton Magnetic Resonance (PMR) is a non-invasive geophysical method that helps us detect water in the ground by directly responding to hydrogen atoms. The idea of using nuclear magnetic resonance (NMR) for this kind of work isn't new (Abragam, 1961), but it was only in the late 1970s that scientists began to test the method in real-world field conditions (Semenov et al., 1982, 1987, 1988). Since then, the technology has come a long way. Modern PMR systems can now estimate not just the presence of groundwater,

but also the depth, thickness, and amount of water in an aquifer. What makes PMR special is its ability to detect water without relying on indirect indicators. It picks up signals from hydrogen nuclei, so if there's water underground, it will show up. On top of that, by analyzing how quickly the signal fades (known as relaxation time), we can learn about the size of pores in the rock or soil. When used together with other methods, PMR can give a clearer picture of underground water systems and help make better decisions in fields like engineering, agriculture, and environmental science.

2. METHOD

Some atomic nuclei—like the common hydrogen-1—have a small magnetic field of their own. When placed in a larger magnetic field, these tiny magnets behave in predictable ways. If we send the right kind of radio wave at them, they absorb energy and shift to a higher energy state. This process depends on both the type of atom and the strength of the magnetic field. Imagine a spinning top slowly wobbling under gravity—that's a bit like how the hydrogen nuclei respond. When we excite them with a pulse of energy, they tilt away from their usual alignment. After the pulse stops, they slowly return to their original state, giving off a tiny electromagnetic signal as they do. We can capture this signal with a wire coil placed on the ground surface (Shirov et al., 1991). In PMR surveys, a loop of wire on the ground sends out a short burst of energy tuned to the natural frequency of hydrogen atoms. The Earth's magnetic field acts as the static background field. Once the pulse ends, the same loop listens for returning signals from water molecules underground. The strength and decay speed of the signal tells us a lot. For example, slower decay usually means larger pores, while stronger signals indicate more water. Over time, scientists have developed models that help translate these signals into estimates of how much water is present and what kind of ground it's in (Shirov et al., 1991). This makes PMR a valuable tool, especially when combined with other data, for understanding both geological and environmental conditions beneath our feet.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Measurements were taken with the PMR method in an area with liquefaction potential. In this study, the transmitter and receiver antennas were placed in a square shape. The transmitter antenna was set at 60 m. and the receiver antenna at 40 m. In this way, measurements were carried out in 30 steps. In addition, drilling was carried out in the study area and a drilling log was also created. The groundwater level in the opened drilling well was determined as 1.58 m. The underground formations determined from the drilling log were determined as 0-1.5 m. Gravelly sandy clay, 1.5-2.45 m. Clayey gravelly sand, 2.45-5.40 m. Gravelly clayey sand, 5.40-8.75 m. Gravelly sandy clay, 8.75-12 m. Sandy silty clay, 12-20 m. Sandy silty clay.

4. CONCLUSIONS

The changes obtained as a result of Proton Magnetic Prospection measurements carried out in the soil with liquefaction potential are shown in Figure 1. When Figure 1 is examined, the values of 250-300 mV and 46 ms were determined up to the first 6 m, 80-140 mV and 46 ms between 6-12 m and 80-350-400 mV and 46 ms up to 20 m. When the results are examined, it is seen that the high mV and low ms values obtained from PMR measurements indicate water-saturated ground and are quite compatible with both the groundwater level and the drilling logs. The formations in the drilling work carried out in the field are Gravelly Sandy Clay between 0-1.5 m, Gravelly Sandy Clay between 1.5 m and 2.45 m, Clayy Gravelly Sand between 2.45 m and 5.40 m, Gravelly Sandy Clay between 5.40 m and 8.75 m.

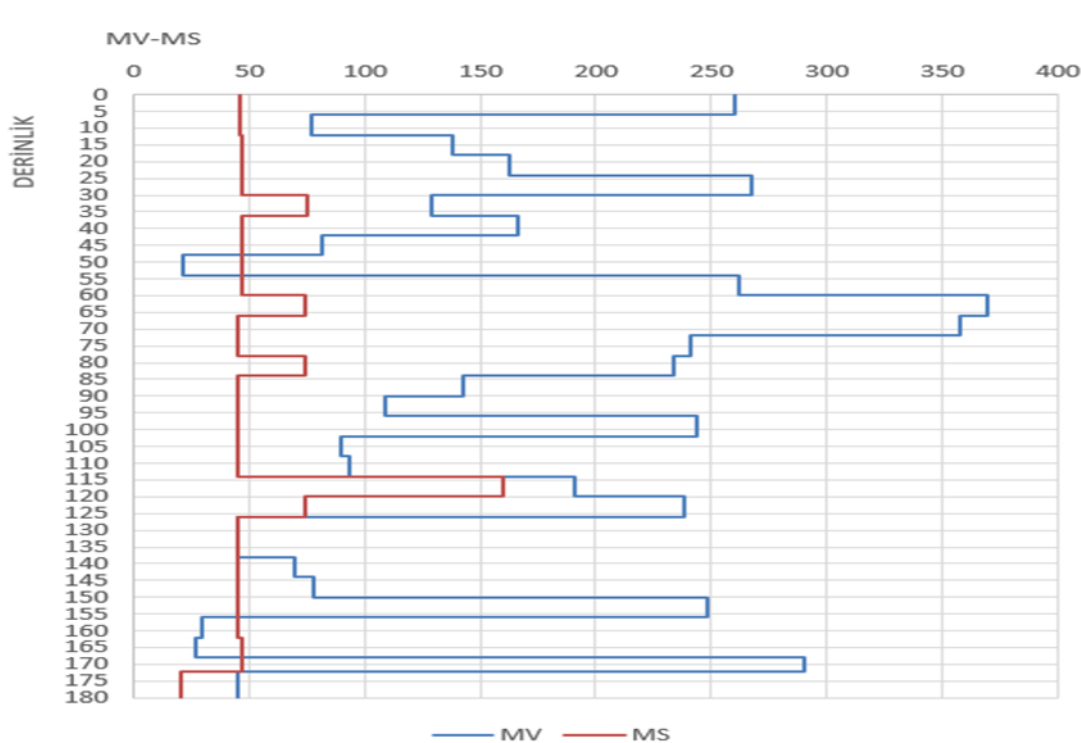


Figure 1. PMR measurement result of the study area

REFERENCES

- Abragam, A. The principles of Nuclear Magnetism, Oxford University Press, New York, 424-479, 1961.
- Büyüksaraç, A., Sayıl, N. L., Bektaş, Ö., Akın, Ö. Deprem Bilimi, Ankara: Gazi, 2018
- Das, B.M. Fundamentals of soil Dynamics, Elsevier Science Publishing Co. Inc., 353-374, 1983.
- Shirov, M., Legchenko, A., Creer, G. New direct non-invasive ground water detection technology for Australia, Expl. Geophys., 22, 1991.
- Semenov, A. G., Pusep, A. Ju., and Schirov, M. D. Hydroscope - an installation for prospecting without drilling, USSR Academy of Sciences, Novosibirsk, 1982.
- Semenov, A. G. NMR Hydroscope for water prospecting, Proc. Seminar on Geotomography, 1987, Indian Geophysical Union, Hyderabad.
- Semenov, A. G., Burshtein, A. I., Pusep, A. Ju., and Schirov, M. D. A device for measurement of underground mineral parameters, USSR Patent 1079063, 1988.
- Semenov, A. G., Schirov, M. D., Legchenko, A. V., Burshtein, A. I., and Pusep, A. Ju. Device for measuring parameters of an underground mineral deposit, GB patent 219540, 1989.
- R. H. (1962). "Ground Liquid Prospecting Method and Apparatus". US Patent 3019383, 1989.

EVALUATION OF SEISMIC BEHAVIOR PARAMETERS IN İZMİR AND ITS SURROUNDINGS: MODELLING OF SURFACE DYNAMICS WITH STRONG GROUND MOTION DATA

Halil Erdim SARİTEPE

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

Geophydev Müh. Dan. Ltd. Şti., CÜ Teknokent, Sivas Türkiye

e-posta: saritepee@gmail.com ORCID: 0000-0002-3930-5464

Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye

e-posta: obektas@cumhuriyet.edu.tr ORCID: 0000-0001-5232-4654

ÖZET

İzmir ili, Türkiye'nin batısında yer alan ve karmaşık fay zonları nedeniyle yüksek sismik aktivite gösteren önemli bir yerleşim alanıdır. Depremlerin yıkıcı etkilerini artıran en önemli etkenlerden biri yerel zemin koşullarıdır. Batı Anadolu'da yer alan İzmir, karmaşık tektonik yapılarla çevrili olup, sık aralıklarla yıkıcı depremlerin yaşandığı bir bölgedir. Bu bağlamda yerel zemin karakteristiklerinin ortaya konulması, sismik riskin azaltılmasına yönelik çalışmalar açısından büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada, İzmir sınırları içerisinde kurulu 34 ivmeölçer istasyonuna ait $M_w > 5$ büyüklüğündeki depremlerin kayıtları kullanılarak zemin davranışına yönelik önemli sismik parametreler analiz edilmiştir. Kuvvetli yer hareketi verileri, GEOPSY yazılımı aracılığıyla işlenmiş; yatay ve düşey bileşenlerden elde edilen genlik spektrumları üzerinden H/V (Horizontal/Vertical) spektral oran eğrileri hesaplanmıştır. Bu eğriler yardımıyla her istasyon için hâkim titreşim periyotları, büyütme değerleri ve bu parametrelere bağlı olarak zemin kırılgenlik indeksi (K_g), sismik temel derinlik ve V_{s30} değerleri elde edilmiştir. Özellikle kuzey kesimlerde daha uzun periyot ve yüksek amplifikasyon değerleri dikkat çekerken, güneyde daha kısa periyotlar gözlenmiştir. Farklı istasyonlardan elde edilen parametrelerin mekânsal dağılımları, mikro bölgeleme çalışmalarına temel oluşturabilecek nitelikte olup, deprem etkilerine karşı yapı tasarımına yön verecek mühendislik verileri sağlamaktadır. Bu yönüyle çalışma, hem akademik araştırmalar hem de afet risk yönetimi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Spektral analiz, yerel zemin etkisi, H/V oranı, zemin tepkisi, sismik kırılgenlik

ABSTRACT

İzmir province is an important settlement area located in the western part of Türkiye and exhibits high seismic activity due to complex fault zones. One of the most important factors that increase the destructive effects of earthquakes is the local ground conditions. İzmir, located in Western Anatolia, is surrounded by complex tectonic structures and is a region where destructive earthquakes occur at frequent intervals. In this context, revealing the local ground characteristics is of great importance for studies aimed at reducing seismic risk. In this study, important seismic parameters related to ground behavior were analyzed using the records of earthquakes with a magnitude of $M_w > 5$ belonging to 34 accelerometer stations established within the borders of İzmir. Strong ground motion data were processed by GEOPSY software; H/V (Horizontal/Vertical) spectral ratio curves were calculated from the amplitude spectra obtained from the horizontal and vertical components. With the help of these curves, dominant vibration periods, amplification values and, depending on these parameters, ground fragility index (Kg), seismic foundation depth and Vs30 values were obtained for each station. While longer periods and higher amplification values were particularly notable in the northern parts, shorter periods were observed in the south. The spatial distributions of the parameters obtained from different stations can form the basis of microzonation studies and provide engineering data that will guide structural design against earthquake effects. In this respect, the study provides important contributions to both academic research and disaster risk management.

Keywords: Spectral analysis, local ground effect, H/V ratio, ground response, seismic fragility

1. INTRODUCTION

Earthquakes have occurred in many geographies around the world since the early 1900s, and this natural event has become more noticeable over time. Especially large earthquakes have caused structural destruction and serious loss of life. However, earthquake research has been intensively continued during this process. In recent years, in order to minimize earthquake damage, the earthquake susceptibility of soils has been determined before urban planning and structural designs have been carried out accordingly. In our country, urban settlements are generally developing towards looser and more unstable regions. Constructions are generally planned based on soil properties. However, this situation also brings with it engineering problems that increase disaster risk. Factors such as incorrect urbanization, incorrectly perceived danger, and incomplete engineering models increase the potential for earthquakes to turn into disasters. As in the world, efforts to minimize losses experienced in natural disasters have gained importance in our country. In particular, the thickness of the ground on which buildings sit is a critical factor in understanding the ground response. Therefore, while approximately 30 meters is accepted as the engineering depth during ground research, determining the foundation rock depth or S-wave velocity is also important. Especially for basin type structures, in order to obtain a complete ground structure model and to model possible

ground amplification and acceleration distribution, information on the bedrock depth is required. For this purpose, many studies have been conducted to obtain bedrock depth using the inverse solution method based on microtremor measurements. Local ground conditions affect the properties of seismic waves during an earthquake. Loosely structured soils can increase the risk of damage by amplifying ground motions during an earthquake. Especially areas located in river or coastal areas are generally composed of thick clay, silt and sand layers. Such soils tend to amplify ground motions during an earthquake. The horizontal/vertical spectral ratio (H/V) method developed by Nakamura (1989) is one of the methods for determining ground properties. This method assumes that horizontal ground motions are amplified around the fundamental frequency of a site, but there is no significant amplification in vertical ground motions (Hassani and Atkinson 2016). It has been stated in many studies that the fundamental (dominant) frequency can be determined reliably using the H/V method on microtremor or strong ground motion data. The seismic vulnerability index is an index showing the seismic fragility value of the deformations occurring in the surface formation with various earthquake movements. This value is important in the detection of unconsolidated soil formations and weak zones. Therefore, it is possible to establish a relationship between seismic vulnerability and earthquake damage distribution. The seismic vulnerability value varies depending on the ground amplification factor obtained from microtremor measurements, the ground dominant frequency and the ground dynamic properties. The maximum ground acceleration value (PGA) is an index used for the calculation of the intensity and danger created by the earthquake. This value, called the maximum ground acceleration, is directly related to the earthquake magnitude and the epicenter distance. In addition, as a result of the different calculations developed, attenuation relationships were established with different ground parameters such as ground classification and seismic velocity. V_{s30} is a parameter found by taking the average of the values of the 'S' wave type, which reaches the surface as the second from the earthquake waves, from the surface to a depth of thirty meters. At the end of this study, the ground dynamic properties of the region were determined using the earthquake records recorded by AFAD accelerometer stations located around Izmir Province.

2. METHOD

In this study, the ground properties of 33 accelerometer stations operated by the Earthquake Department of the Disaster and Emergency Management Presidency of the Ministry of Interior (AFAD) in and around Izmir Province were investigated using earthquake records. In this context (Figure 1), earthquake records with magnitudes greater than 5 that occurred between 1900-2024 were used. The earthquake records at each station were analyzed using the H/V method. At least 5 earthquake records were used for each station. First of all, after the trend effect of the earthquake data was eliminated, the amplitude spectra of each component were obtained by applying Fast Fourier Transform (FFT) for the selected window in the earthquake record. Konno-Ohmachi smoothing was applied to the obtained spectra by selecting the bandwidth $b = 40$. As a result, H/V spectral ratios were obtained by dividing the horizontal component amplitude spectra by the vertical component amplitude spectra. The H/V spectrum for the relevant station was obtained by taking the average of the H/V spectra obtained for each earthquake. The frequency value corresponding to the maximum amplitude in this spectrum was determined as the dominant frequency.

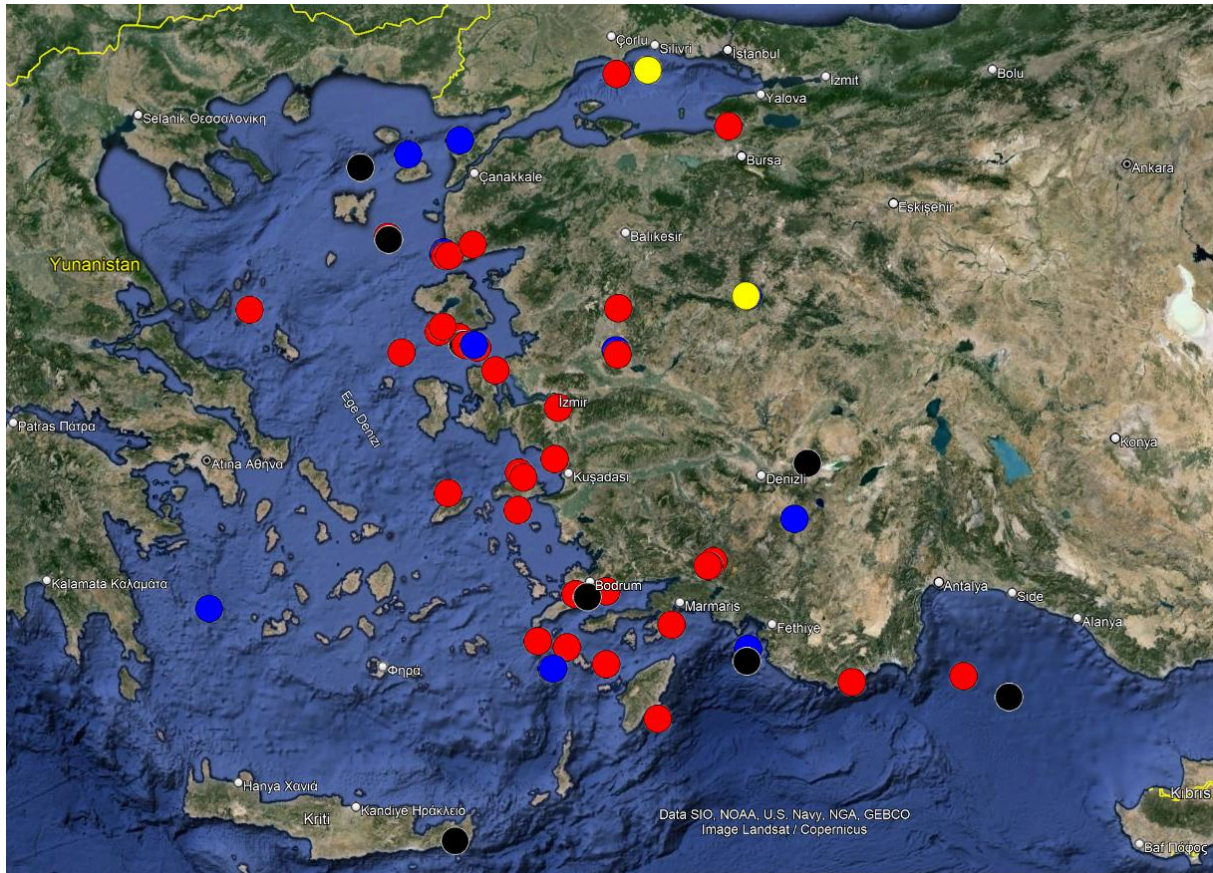


Figure 1. Classification of the 60 earthquake records examined according to their magnitudes. Red circles indicate earthquake locations with magnitudes of Mw 5-5.3, Blue circles indicate earthquake locations with magnitudes of Mw 5.3-5.6, Yellow circles indicate earthquake locations with magnitudes of Mw 5.6-5.9 and Black circles indicate earthquake locations with magnitudes of Mw 5.9-6.6.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The dominant period values obtained in the ground where the accelerometer stations are located in the study area vary between 0.13 s and 3.8 s. The dominant frequency values calculated for 33 stations vary between 0.3 Hz and 7 Hz. The amplification factor values calculated from the earthquake records for 33 stations vary between 1.7 and 11.6. Seismic vulnerability (K_g) values were calculated using the dominant frequency and amplification factor values obtained from 33 stations examined in İzmir province and its surroundings, and the vulnerability (K_g) values calculated at these stations vary between 0.4 and 234. While the H/V amplitude reaches higher values in soft grounds, the H/V ratio is low (~ 1) in compact hard grounds, which shows that H/V can be used as an amplification factor (Nakamura 2000, 2019). While low amplification factor values were obtained in the low period at the stations located in the south of İzmir, high amplification factor values were obtained in the high period at the stations located in the north of İzmir.

4. CONCLUSIONS

At station numbered 3536 in Seferihisar district of Izmir province, the period (T) value was calculated as 0.13 s, the amplification factor (A0) value was 1.7, the vulnerability value (Kg) was 0.4, the bedrock depth was 9 m and in accordance with these parameters, the Vs30 value was calculated as 415 m/sec. It is in the Class C soil class according to NEHRP soil classification. At station numbered 3521 in Karşıyaka district, the period (T) value was calculated as 3.8 s, the amplification factor (A0) value was 6.21, the vulnerability value (kg) was 143, the bedrock depth was 528 m and in accordance with these parameters, the Vs30 value was calculated as 145 m/sec. It is in the Class E soil class according to NEHRP soil classification. At station number 3517 located in the center of Izmir province, the period (T) value was calculated as 0.21 s, the amplification factor (A0) value was 2.96, the vulnerability value (Kg) was 1.86, the bedrock depth was 15m and in accordance with these parameters, the Vs30 value was calculated as 695 m/sec. According to NEHRP soil classification, it is in the Class C soil class. At station number 3520 located in Bornova district, the period (T) value was calculated as 0.52 s, the amplification factor (A0) value was 2.5, the vulnerability value (Kg) was 3, the bedrock depth was 45 m and in accordance with these parameters, the Vs30 value was calculated as 875 m/sec. According to NEHRP soil classification, it is in the Class B soil class. At station numbered 3515 located in the center of Izmir province, the period (T) value was calculated as 3.33 s, the amplification factor (A0) value was 3.9, the vulnerability value (Kg) was 51, the bedrock depth was 435.09 m and in accordance with these parameters, the Vs30 value was calculated as 171 m/sec. It entered the class E soil class according to NEHRP soil classification. At station numbered 3513 located in Bayraklı district, the period (T) value was calculated as 1.52 s, the amplification factor (A0) value was 6.77, the vulnerability value (kg) was 71, the bedrock depth was 171 m and in accordance with these parameters, the Vs30 value was calculated as 196 m/sec. It entered the class D soil class according to NEHRP soil classification.

REFERENCES

Hassani, B., Atkinson, G.M. (2016). Applicability of the site fundamental frequency as a V_{s30} proxy for central and eastern North America, *Seismol Soc Am Bull*, 106(2), 2016.

Nakamura, Y. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), 1989.

Nakamura, Y. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, In: *Proceedings of 12th world conference on earthquake engineering*, Auckland, New Zealand, 2000.

Nakamura, Y. What is the Nakamura method?, *Seismol Res Lett*, 90(4), 2019.

2020 İZMİR DEPREMİ: GEOTEKNİK AÇIDAN İNCELEME VE ZEMİN DAVRANIŞLARI

Dr., ESRA GÜNERİ

İzmir Demokrasi Üniversitesi, esra.guneri@idu.edu.tr- 0000-0002-1840-2118

Lisans Öğrencisi, SAMET GÜNCÜ

İzmir Demokrasi Üniversitesi, 2106104070@std.idu.edu.tr- 0009-0000-3194-6200

ÖZET

Bu çalışmada, 30 Ekim 2020 tarihinde gerçekleşen İzmir Depremi geoteknik mühendisliği açısından somut verilerle ele alınmıştır. İlk olarak, levha hareketleri, fay durumu ve deprem parametreleri incelenerek depremin oluşum süreci değerlendirilmiştir. İkinci olarak, depremden etkilenen bölgelerdeki zemin özellikleri; zemin sınıfı, zemin büyütmesi, zemin sıvılaşması ve maksimum yer ivmesi gibi başlıklar altında analiz edilmiştir. Üçüncü olarak ise yapı kalitesine odaklanılarak, yapıların öngörülen deprem yüklerini karşılayabilme durumları tartışılmıştır. Çalışmanın temel amacı, geoteknik mühendisliğinin önemli konularından bazılarını gerçek bir deprem örneğiyle açıklamak ve deprem sırasında ölçülen maksimum yer ivmesi (PGA) değerleri ile bölge tasarımında kullanılan PGA değerlerini karşılaştırarak mevcut durumun değerlendirilmesini sağlamaktır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Zemin, Levha, Fay, Magnitüt

1. GİRİŞ

İzmir, 4 milyon 479 bin kişilik nüfusu ile Türkiye'nin en kalabalık üçüncü şehri olma özelliğini taşımaktadır. Şehrin toplam yüz ölçümü 11.891 kilometrekare olup hem ekonomik hem de kültürel anlamda ülkemizin önemli merkezlerinden biridir. Ancak İzmir'in coğrafi konumu, şehri birinci derece deprem bölgesi sınırları içerisine yerleştirmektedir. Bu durum, bölgedeki deprem risklerinin değerlendirilmesi ve önlemler alınması açısından büyük bir önem taşımaktadır.

1.1. Türkiye Deprem Haritalarının Tarihsel Gelişimi

Türkiye'de depremsellik analizlerinde kullanılan deprem haritaları, zaman içerisinde değişim ve gelişim göstermiştir. Geçmişten günümüze, bu haritalar hem teknik hem de metodolojik olarak önemli iyileştirmelerle güncellenmiştir. İlk resmi deprem haritaları 1945 ile 1963 yılları arasında hazırlanmış olup, bu dönemde üç ana sınıf kullanılmıştır: çok tehlikeli bölgeler, tehlikeli bölgeler ve tehlikesiz bölgeler. 1963 yılında, deprem bölgelerinin sınıflandırılmasında önemli bir değişiklik yapılmıştır ve bu sınıflandırma dört bölgeye çıkarılmıştır: birinci dereceden, ikinci dereceden, üçüncü dereceden ve tehlikesiz bölgeler. Bu yeni sınıflandırma, deprem risklerini daha ayrıntılı bir şekilde analiz etmeyi mümkün kılmıştır. 1972 yılına gelindiğinde ise, deprem bölgelerinin sayısı beşe yükseltilmiştir. Bu sistematik yaklaşım, her bölgenin tehlike derecesini daha spesifik bir şekilde belirlemeyi amaçlamıştır. Böylelikle, birinci dereceden en tehlikeli bölge olarak kabul edilirken, beşinci dereceden deprem bölgesi en az tehlikeli olarak değerlendirilmiştir. 1996 yılında Türkiye Deprem Haritası, olasılık ve ivme esaslı bir yaklaşımla hazırlanmıştır. Bu harita, önceki yaklaşımlardan farklı olarak her deprem bölgesi için tahmini maksimum yer ivmesi (Peak Ground Acceleration - PGA) değerlerini içermektedir. Bu değerler, deprem riski analizinde ve yapı tasarımında önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Haritada, bölgeler birinci dereceden başlayarak beşinci dereceye kadar sınıflandırılmıştır. Birinci derece deprem bölgeleri, en yüksek olasılıkla ve en yüksek ivme değerleri ile tanımlanırken, beşinci derece deprem bölgeleri daha düşük ivme değerleri ile ifade edilmiştir.

1.2. İzmir ve Deprem Riski

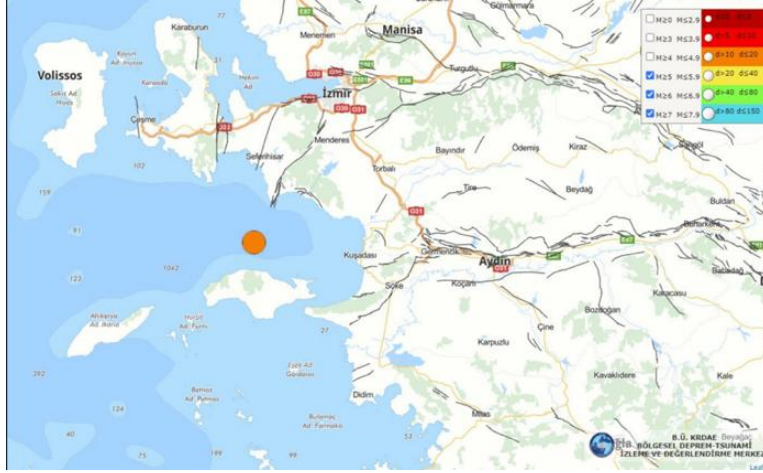
İzmir, birinci derece deprem bölgesinde yer alması nedeniyle yüksek deprem riski taşımaktadır. Şehrin üzerinde bulunduğu fay hatları ve çevresindeki tektonik yapı, bölgenin depreme karşı hassasiyetini artırmaktadır. Bu durum, sadece mevcut yapıların dayanıklılığı açısından değil, aynı zamanda gelecekteki yapı tasarımlarında da göz önünde bulundurulması gereken bir gerçekliktir. Deprem riski, şehirlerin sürdürülebilir kalkınmasında ve güvenli yapılaşmasında kritik bir öneme sahiptir. Türkiye Deprem Haritalarının tarihsel süreçteki gelişimi, bu riski yönetme konusunda önemli adımlar atıldığını göstermektedir. İzmir gibi yüksek riskli bölgelerde, mevcut deprem verileri ve PGA değerlerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi, hem yapılaşma politikalarının şekillenmesinde hem de bireylerin farkındalık düzeyinin artırılmasında belirleyici rol oynamaktadır. Deprem tehlike analizinde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilen 2018 Türkiye Deprem Haritası, ülkemizin her noktasındaki deprem riskini yer ivmesi cinsinden ifade eden bir yaklaşımla hazırlanmıştır. Bu harita, Türkiye

Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) ile birlikte yürürlüğe girmiştir ve önceki deprem haritalarından farklı olarak, her bir konum için detaylı bir deprem tehlike analizi yapılmasını mümkün kılmaktadır. 2018 Türkiye Deprem Haritası, deprem tehlikesini yer ivmesi (Peak Ground Acceleration - PGA) cinsinden ifade ederek, kullanıcıların belirli bir konumun deprem tehlike düzeyini daha hassas bir şekilde değerlendirmesine olanak tanır. Yer ivmesi, 0 ile 0,5 arasında değişen bir değer olarak ifade edilir ve bir bölgedeki deprem tehlikesinin büyüklüğünü ve etkilerini öngörmekte kritik bir rol oynar. Daha yüksek yer ivmesi değerleri, o bölgedeki depremlerin yıkıcı etkilerinin daha fazla olabileceğine işaret eder. Haritanın en dikkat çekici özelliklerinden biri, interaktif bir şekilde kullanılabilmesidir. Kullanıcılar, belirli bir konumun koordinatlarını girerek o noktaya ait yer ivmesi değerlerini kolaylıkla öğrenebilir. Bu özellik, yapı tasarımı ve deprem mühendisliği açısından büyük bir avantaj sağlamaktadır. Özellikle yapıların dayanıklılığına ilişkin tasarım aşamalarında, bu haritada sunulan maksimum yer ivmesi (PGA) değerleri, önemli bir veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. 2018 Türkiye Deprem Haritası, deprem tehlikesi analizlerinde modern bir yaklaşımı temsil etmektedir. Türkiye'nin aktif tektonik yapısı göz önüne alındığında, bu harita hem mühendislik hem de şehir planlaması açısından kritik bir role sahiptir. Örneğin, yapıların sismik tasarımında ve deprem etkilerinin azaltılmasında, belirli bir bölgedeki PGA değerlerinin doğru bir şekilde hesaplanması hayati önem taşır. Ayrıca, haritanın interaktif özelliği, bireylerin ve kurumların farkındalık düzeyini artırmaya yönelik önemli bir araçtır. 2018 Türkiye Deprem Haritası, deprem tehlikesinin daha hassas bir şekilde analiz edilmesine olanak sağlayarak, ülkemizin deprem tehlikesine karşı daha hazırlıklı olmasına katkıda bulunmuştur. Deprem riski yüksek bir ülke olan Türkiye için, bu tür teknolojik ve bilimsel gelişmelerin şehirlerin güvenliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamadaki önemi büyüktür. Harita, mühendislikten planlamaya kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bularak, deprem risklerini en aza indirme hedeflerine önemli bir katkı sunmaktadır.

İzmir şehri depremlerin sıklıkla meydana geldiği bir bölgedir. Son yüzyılda İzmir'de 6 büyüklüğü ve üzeri depremler aşağıdaki gibidir [1]

- 31 Mart 1928 İzmir (Torbalı) Depremi (Büyükölük:6,5)
- 22 Eylül 1939 Dikili Depremi (Büyükölük:6,6)
- 23 Temmuz 1949 İzmir- Karaburun Depremi (Büyükölük:6,6)
- 16 Temmuz 1955 Söke – Balat Depremi (Büyükölük:6,8)
- 6 Kasım 1992 İzmir Seferihisar Depremi (Büyükölük:6,0)
- 12 Haziran 2017 İzmir- Karaburun Depremi (Büyükölük:6,2)
- 30 Ekim 2020 İzmir- Seferihisar Depremi (Büyükölük:6,6-6,9)

30.10.2020 günü, Türkiye saati ile 14:51'de merkez üssü Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) olan M_w 6.6 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Yerin 14,9 km derininde meydana gelen bu depremin en yakın yerleşim birimi olan İzmir ilinin Seferihisar ilçesine bağlı Doğanbey Payamlı köyüne uzaklığı 27.17 kilometredir. Ana şoktan, 31.12.2020 01:50'ye kadar geçen zamanda (62. günde), büyüklükleri 0.7 ile 5,1 arasında değişen 5799 adet artçı deprem kaydedilmiştir [2].



Görsel 1: 30 Ekim 2020 İzmir Depremi merkez üssü [3]

2. ARAŞTIRMANIN KAPSAMI VE YÖNTEMİ

Bu araştırma, 30 Ekim 2020 tarihinde İzmir’de meydana gelen depremi temel alarak geoteknik mühendisliğin kritik konularını ele almaktadır. Araştırmanın ilk aşamasında, bölgedeki levha hareketleri ve fay sistemleri incelenmiştir. İzmir ve çevresinde aktif olan fay hatlarının tektonik hareketlerle ilişkisi detaylı bir şekilde analiz edilmiş, bu hareketlerin depremlerin oluşumuna nasıl katkıda bulunduğu değerlendirilmiştir.

2.1. Levha ve Fay Tanımları

Levha hareketleri ve fay sistemlerinin tanımlanması, bölgedeki depremselliğin anlaşılması açısından hayati bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, İzmir bölgesinin sismotektonik özellikleri açıklanmış ve bu özelliklerin yerel fay hatlarına etkisi ele alınmıştır. Ayrıca, sismik dalgaların oluşumu ve yayılımı üzerinde durulmuş; P dalgası, S dalgası ve yüzey dalgaları gibi temel kavramlar açıklanmıştır.

Araştırmanın bir diğer adımında, deprem parametreleri kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Şiddet ve büyüklük kavramları arasındaki farklar detaylıca açıklanmış ve İzmir depremine ilişkin farklı kaynaklar tarafından yayımlanan raporlar karşılaştırılmıştır. Bu raporlar, depremin şiddetinin ve büyüklüğünün bölgedeki etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır. Farklı kurumlar tarafından sağlanan sismik veriler bir araya getirilerek, depremin fiziksel etkilerinin yanı sıra zemin üzerindeki etkileri de analiz edilmiştir. Geoteknik mühendisliğinde zemin davranışlarının analizi, yapıların depreme dayanıklılığını değerlendirmek açısından önemli bir araştırma alanıdır. Bu çalışmada, İzmir depremi sırasında gözlemlenen zemin davranışları; zemin sınıfı, zemin büyütmesi, zemin sıvılaşması ve yer ivmesi gibi başlıklar altında incelenmiştir. Özellikle zemin sıvılaşması, bölgedeki hasarların büyük bir kısmını açıklayan önemli bir faktör olarak değerlendirilmiştir.

Araştırmada yer ivme hareketleri (Peak Ground Acceleration- PGA) üzerinde detaylı bir şekilde durulmuştur. Deprem sırasında İzmir ve çevresindeki ivme ölçer cihazlar tarafından kaydedilen yer ivmesi değerleri analiz edilmiştir. Bu değerler, 2018 Türkiye Deprem Haritası’nda aynı bölge için belirlenen maksimum PGA değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, bölgedeki zemin hareketlerinin mevcut deprem tehlike analizleriyle ne kadar

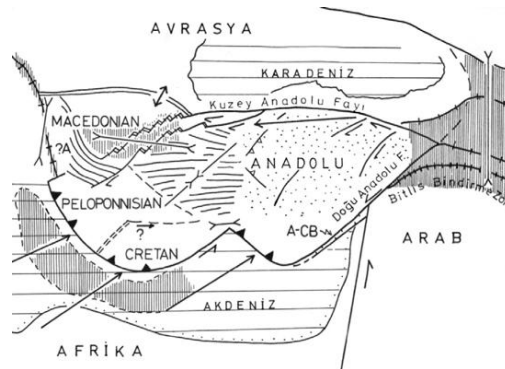
uyumlu olduğunu değerlendirmek için önemli bir veri sağlamıştır. Araştırma kapsamında kullanılan yöntem, deprem verilerinin saha ölçümleri ve harita analizleri ile birleştirilmesine dayanmaktadır. İzmir'deki ivme ölçer cihazlardan alınan veriler, bölgedeki zemin davranışlarının detaylı bir analizi için temel oluşturmaktadır. Ayrıca, Türkiye Deprem Haritası'nda yer alan PGA değerleriyle karşılaştırma yapılması, deprem tehlikesinin daha geniş bir perspektifle ele alınmasını sağlamıştır. Bu çalışma, İzmir depremi özelinde geoteknik mühendisliğinin zemin davranışları ve deprem parametreleri konusundaki kritik rollerini vurgulamaktadır. Çalışma sonunda, İzmir ve benzeri bölgelerde yapı tasarımı ve zemin analizlerine yönelik önemli çıkarımlar yapılması hedeflenmektedir.

2.2. Deprem Parametrelerine Ait Konu Başlıkları ve 30 Ekim İzmir Depremindeki Durumları

Levhalar, Dünya'nın en dış katmanı olan yer kabuğunu oluşturan büyük ve sert tabakalardır. Bu tabakalar, altlarında bulunan mantodaki çekirdeğin ısısından kaynaklanan konveksiyon akıntıları nedeniyle sürekli hareket halindedir. Levhaların bu hareketi, yer kabuğunda çeşitli gerilmeler meydana getirir. Bu gerilmeler, levhalar üzerinde en zayıf noktalarda birikerek kırılmalara yol açar ve bu kırılmalar sonucunda faylar oluşur.

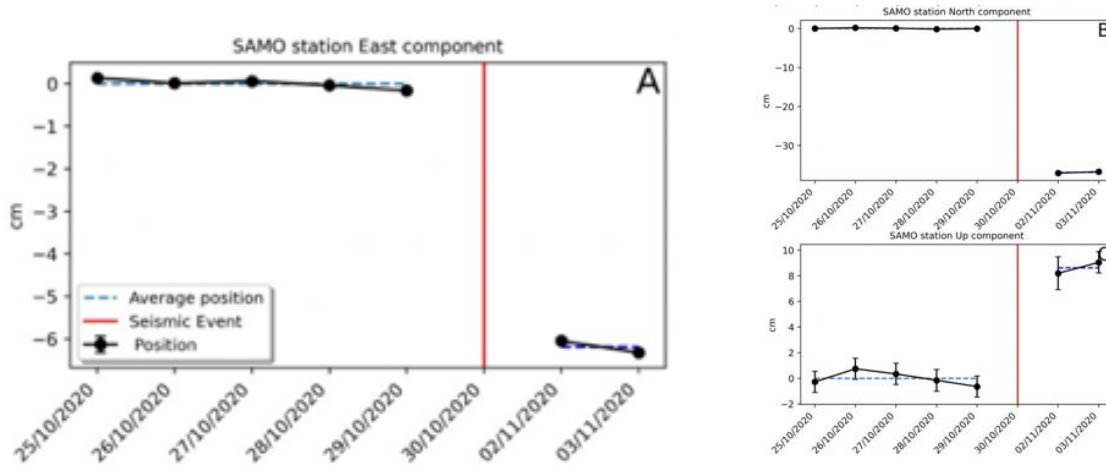
Bir levha tabakasındaki en zayıf bölgelere fay adı verilir. Bu bölgeler, levhalar arasındaki hareketten kaynaklanan gerilmelere karşı en savunmasız noktalardır. Fay hatları, yeryüzündeki depremlerin çoğunun olduğu alanlardır. Bu nedenle fayların ve üzerlerindeki gerilmelerin anlaşılması, deprem tehlikesi açısından kritik bir öneme sahiptir.

Levha hareketleri ve fay sistemleri, depremlerin oluşum mekanizmalarını anlamak için temel bir çerçeve sunar. Türkiye'nin bulunduğu bölgedeki levha dinamikleri, ülkemizi deprem riski açısından kritik bir konuma yerleştirmektedir. Özellikle Arabistan ve Afrika Levhalarının kuzeye doğru hareketi ve Anadolu Levhasını batıya itmesi, Türkiye'nin büyük ölçüde tektonik baskı altında olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, fay hatlarının ve bu hatlar üzerindeki gerilmelerin sürekli olarak izlenmesi, deprem tehlikesinin azaltılmasına yönelik çalışmalar için hayati bir gerekliliktir. Batı Anadolu Kuzey Anadolu (KAFZ) fay zonu ile Doğu Anadolu (DAFZ) doğrultu atımlı fay zonu boyunca batıya doğru hareketi, Yunanistan'ın batısı kısmında bir kıtasal kalınlaşma nedeniyle Anadolu'nun batıya hareketi engellenmektedir. Bu engellenmenin sonucunda Batı Anadolu güneybatı yönünde dönerek Hellen yayı üzerine hareket etmektedir. [3].



Görsel 2: Türkiye'de etkin levhalar [4]

Bölgede gerçekleşen levha hareketleri sonucu oluşan Sisam fayı; Sisam adası ve Kuşadası Körfezi arasında bulunur, Normal fay özelliği taşır ve uzunluğu yaklaşık 40 kilometredir [4]. Sisam Adası'nda 30 Ekim 2020 tarihinde gerçekleşen İzmir Depremi öncesi ve sonrası ölçülen kot verileri, adada belirgin bir yükselmenin meydana geldiğini göstermektedir. Şekil 5, bu yükselmeyi net bir şekilde ortaya koymaktadır. Deprem sırasında Sisam Adası'nın yükselme hareketine karşılık olarak, Kuşadası Körfezi'nde çökme hareketi gözlemlenmiştir.



Görsel 3: Sisam Adasında deprem öncesi ve sonrası ölçülen kot verileri [5]

2.3. Deprem Sonrası Değişimlerin Mekanizması

Bu tür tektonik hareketler, fay hatları boyunca meydana gelen yer değiştirmeler sonucu oluşmaktadır. İzmir Depremi sırasında, bölgedeki fay sisteminde biriken enerji aniden açığa çıkarak Sisam Adası'nda yükselme ve Kuşadası Körfezi'nde çökme hareketine neden olmuştur. Bu değişimler, levha hareketleri ve yer kabuğunun deformasyonu ile ilişkilidir.

Sisam Adası'nın yükselmesi, fay boyunca meydana gelen sıkışma ve yer değiştirme hareketlerinin doğrudan bir sonucudur. Fay hatları üzerindeki gerilme, adanın deniz seviyesine göre kotunun artmasına yol açmıştır. Bu durum, ada yüzeyinde morfolojik değişimlere neden olabileceği gibi deniz seviyesindeki farklılıkları da etkilemektedir.

Kuşadası Körfezi'nde meydana gelen çökme ise, Sisam Adası'ndaki yükselmeyle dengeli bir şekilde gerçekleşmiştir. Bu tür karşılıklı hareketler, fay sistemlerinin jeolojik süreçler üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır. Körfezdeki çökmenin etkileri, kıyı şeridinde deformasyon ve yerel hidrolojik değişimlere neden olabilmektedir. Deprem sonrası Sisam Adası'nda gözlemlenen yükselme ve Kuşadası Körfezi'nde tespit edilen çökme, bölgedeki aktif fay sistemlerinin dinamik doğasını yansıtmaktadır. Bu tür değişimlerin daha kapsamlı bir şekilde incelenmesi, gelecekteki deprem etkilerinin tahmin edilmesi ve risklerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

2.4. İzmir Depremi Büyüklük Değerleri

30 Ekim 2020 İzmir Depremi'nin büyüklüğü, farklı kurumlar tarafından yapılan ölçümlerle belirlenmiştir. Bu deprem için elde edilen büyüklük değerleri şu şekildedir:

- **AFAD** tarafından ölçülen büyüklük: 6.6
- **Kandilli Rasathanesi** tarafından ölçülen büyüklük: 6.9
- **USGC** tarafından ölçülen büyüklük: 7.0

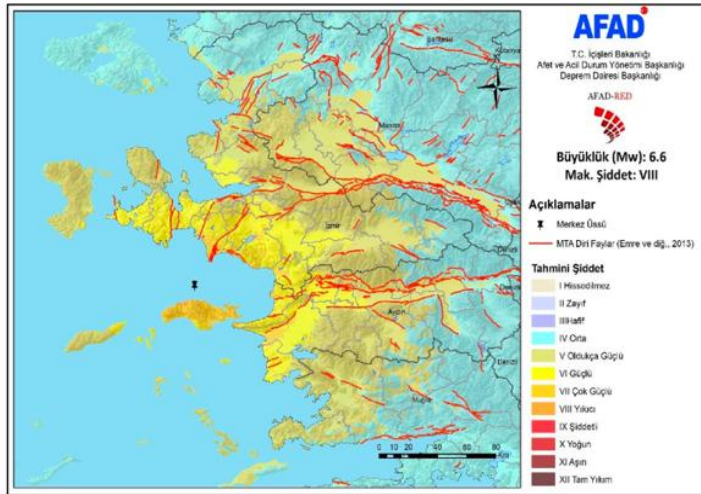
Bu büyüklük değerleri, depremin şiddetinin ve yaydığı enerjinin farklı ölçüm tekniklerine göre nasıl değişebileceğini göstermektedir. Ancak, her durumda İzmir depremi, büyük bir enerji açığa çıkaran önemli bir sismik olay olarak değerlendirilmiştir. Sismik dalgalar ve deprem büyüklüğü, depremin özelliklerini ve etkilerini anlamada kritik parametrelerdir. Cisim ve yüzey dalgalarının hızı ve etkisi, deprem sırasında meydana gelen yer hareketlerinin büyüklüğünü belirlerken, magnitüd hesaplamaları ise depremin enerjisini niceliksel olarak ifade etmemizi sağlar. İzmir Depremi örneğinde olduğu gibi, büyüklük değerlerinin farklı kaynaklar tarafından ölçülmesi, depremin gerçek gücü hakkında daha kapsamlı bir değerlendirme yapmamıza olanak tanır.

2.5.İzmir Depremi Şiddet Ölçümleri

İzmir’de 30 Ekim 2020 tarihinde gerçekleşen depremde ölçülen şiddetler, farklı raporlarda belirtilmiştir. Öne çıkan bir örnek, AFAD raporudur. Bu rapora göre: Sisam Adasında, maksimum şiddet VIII (Yıkıcı) olarak belirlenmiştir.

- USGC :VIII (Yıkıcı) [5]
- Ülkemiz kıyılarında, şiddet VII (Çok Güçlü) olarak tahmin edilmiştir.

Bu şiddet değerleri, depremde etkilenen bölgelerdeki yerel hasarları ve yapısal bozulmaları yansıtmaktadır. Özellikle Sisam Adası, depremin merkezine daha yakın bir konumda bulunması nedeniyle daha yüksek bir şiddet değeri almışken, kıyı bölgelerinde şiddet biraz daha düşük olmuştur.



Şekil 7.1 İkincil çözüm sonuçlarına ait tahmini şiddet haritası

Görsel 4: AFAD Şiddet Haritası [6]



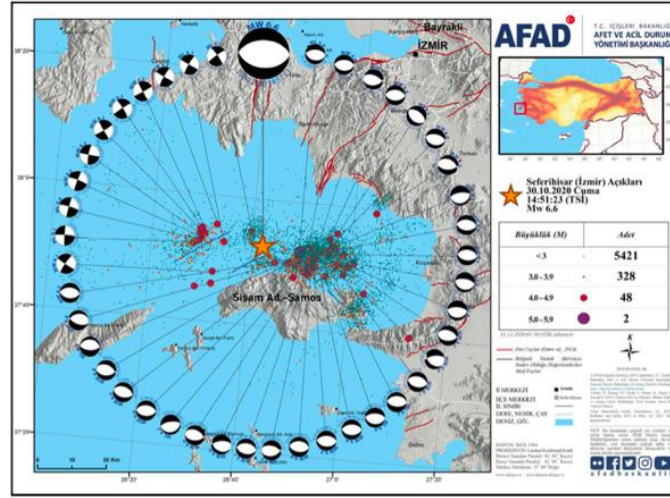
Görsel 5: USGS Eşşiddet Haritası [7]

İzmir’de 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen depremin odak derinliği yaklaşık olarak 14,9 kilometre olarak ölçülmüştür. Bu derinlik, depremin sığ derinlikte gerçekleştiğini

ve dolayısıyla tektonik hareketlerin yer yüzeyine yakın bir noktada meydana geldiğini göstermektedir. Sığ derinlikteki depremler genellikle daha yıkıcı etkiler yaratma potansiyeline sahiptir, çünkü enerjinin büyük bir kısmı yer yüzeyine çok yakın bir noktada serbest kalır.

Depremin merkez üssü ise Ege Denizi Seferihisar açıkları olarak belirlenmiştir. Şekil 13, bu merkez üssünü ve aynı zamanda deprem sonrası yaşanan artçı sarsıntıların verilerini göstermektedir. Artçı depremler, ana depremin hemen ardından gerçekleşen ve genellikle daha düşük büyüklükte olan sarsıntılardır. İzmir depremi sonrası, büyüklüğü 5.0 ve üzeri olan iki adet artçı deprem yaşanmıştır. Bu artçı sarsıntılar, ana depremin yarattığı yerel gerilmelerin devam ettiğini ve bölgedeki fay hattının aktif olduğunu göstermektedir.

30.10.2020 14:51:23 (TSl), Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) Depremi Mw 6.6
Enlem: 37.879 N | Boylam: 26.703 E | Derinlik: 14.9 km



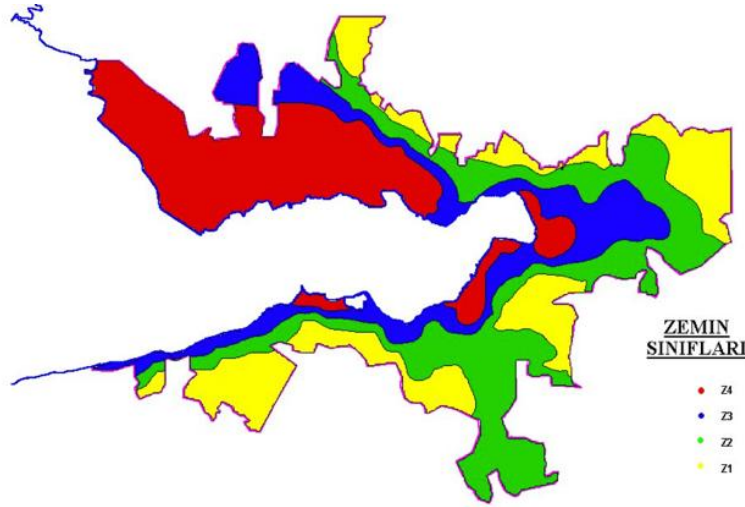
Görsel 6: İzmir Depremi merkez üssü ve artçı deprem haritası [6]

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. Zemin Sınıfı, Zemin Büyütmesi ve Zemin Sıvılaşması

Zemin sınıfı, bina tasarımında önemli bir faktördür ve özellikle temel tasarımı için kritik bir rol oynar. Zeminin tipine göre, yapının güvenliğini sağlamak amacıyla dayanım gerilmesi hesaplanır. Türkiye’de, zemin sınıfı ZA, ZB, ZC, ZD, ZE ve ZF olmak üzere altı kategoriye ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma, kayma dalgası hızı (V_s) esas alınarak yapılır. Ancak, kayma dalgası hızının ölçülmesi mümkün olmadığı durumlarda, ZF zemin tipi üzerinden tasarım yapılır. TBDY-2018 (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018) zemin sınıfı ZF hariç, diğer zemin sınıfları için tasarım spektrumları belirler. ZF sınıfına giren zeminler için ise, saha özel spektrum analizi yapılması gerekmektedir. Bu, ZF sınıfındaki zeminlerin, depremde oluşan etkileri daha fazla büyütebilme potansiyeline sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, ZF sınıfındaki zeminler üzerinde tasarım yapılırken daha ayrıntılı analizler ve özel hesaplamalar yapılması önemlidir. Zemin sınıfı belirlemek için yapılan çalışmalar arasında, 98 farklı sahada gerçekleştirilen yaklaşık 500 sondaj ve CPT (Konik Penetrasyon Testi) deneylerinin sonuçları yer almaktadır. Bu veriler ışığında, 1997 tarihli Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar ile İlgili Yönetmelik doğrultusunda zemin sınıflandırması yapılmış ve bu sınıflandırma, dört zemin grubu olarak tanımlanmıştır. Bu dört grup, farklı zemin koşullarını dikkate alarak, sınırları belirlenen bölgelere ayrılmıştır. Bu sınıflandırma, zemin koşullarının

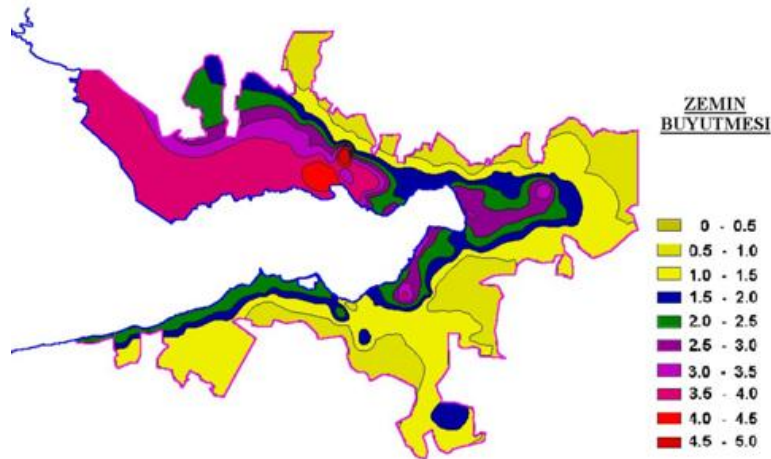
belirlenmesinde temel referans kaynaklarından biridir ve yapısal tasarımda kullanılan önemli bir araçtır [7].



Görsel 7: İzmir Zemin Sınıfı Haritası [7]

Deprem meydana geldiğinde ortaya çıkan deprem dalgaları, karşılaştıkları her zemin sınıfında farklı tepkiler verir. Bu, zeminin yapısal ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişir. Örneğin, ZA zemin sınıfı (sağlam kaya zemin) ile ZF zemin sınıfı (suya doymun kumlu-siltli zeminler) arasında, aynı deprem dalgası farklı davranışlar sergiler. Bu farkın temel nedeni zemin büyütmesi olarak tanımlanır.

Zemin büyütmesi, deprem dalgalarının, zeminin fiziksel özellikleri nedeniyle şiddetinin artması durumunu ifade eder. Kısaca, deprem dalgalarının zeminden geçerken, zeminin özelliklerine bağlı olarak genliklerinin artması, bu dalgaların daha fazla enerji taşımaya ve sonuç olarak daha yıkıcı olmasına neden olur. Zemin sınıfının kötüleşmesi, yani daha gevşek ve suya doymun zeminler üzerinde yer alan yapılar, zemin büyütmesi nedeniyle daha büyük genlikli sarsıntılarla karşılaşır. Bu da depremin yıkıcılığını artırır. İzmir'in zemin büyütme haritası, bölgedeki farklı zemin türlerinin, deprem dalgaları ile nasıl etkileşime girdiğini ve bu etkileşimin deprem şiddeti üzerindeki etkilerini gösterir. Bu harita, yerel zemin koşullarının deprem güvenliği açısından ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.



Görsel 8: İzmir Zemin Büyütmesi Haritası [7]

Zemin sıvılaşması, özellikle suya doymun kumlu-siltli (gevşek daneli) zeminlerde, dinamik bir etki altında ortaya çıkar. Bu tür zeminlerde, yer altı su seviyesinin temel seviyesine yakın olduğu durumlarda, deprem gibi dinamik yükler nedeniyle zemin, viskoz sıvı gibi davranabilir. Sonuç olarak, zemin sıvılaştığında, üzerine inşa edilmiş yapılar bu yumuşayan zeminde batabilir veya devrilebilir. Bu fenomen, Kahramanmaraş 2023 depreminde görülen ağır yapısal hasarların sebeplerinden biri olmuştur. Bu depremde, zemin sıvılaşmasından dolayı tamamen devrilen binalar ile karşılaşmıştır.

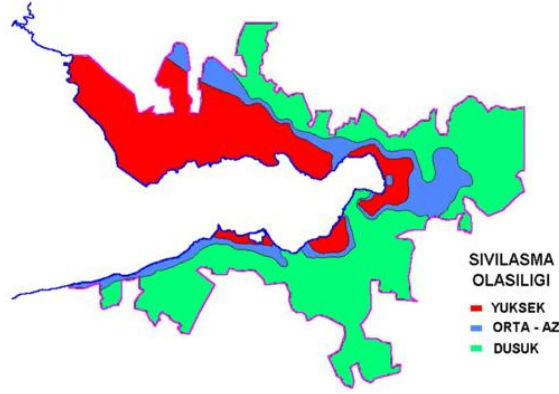
İzmir depreminde de, zemin sıvılaşmasından kaynaklanan ağır hasar gören binalar olmuştur. Zemin sıvılaşması yaşanabilmesi için üç temel unsurun bir arada bulunması gerekmektedir:

- Zemin danelerinin kumlu veya siltli olması: Bu tür zeminler, sıvılaşma için elverişlidir çünkü gevşek yapıları, dinamik yükler altında kolayca sıkışabilir.
- Zemin suya doymun olmalıdır: Yüksek yer altı su seviyesi, zemin sıvılaşmasının gerçekleşebilmesi için bir başka gerekli koşuldur.
- Dinamik bir etki (depremler gibi) altında olması gerekir: Sadece statik yükler altında bu süreç gerçekleşmez; bir deprem gibi dinamik bir etki zemin sıvılaşmasının tetikleyicisi olur. Bu üç unsur bir arada bulunmadığı sürece, zemin sıvılaşmasından bahsedilemez. Depremler sırasında bu faktörlerin bir araya gelmesi, özellikle düşük dayanım kapasitesine sahip zeminlerde önemli yapısal riskler oluşturabilir.

İSTASYON				PGA [g]		
Kodu	İl	İlçe	Uzaklık [km]	K-G	D-B	U-D
3536	İzmir	Seferihisar	35	0.050	0.081	0.032
0905	Aydın	Kuşadası	43	0.183	0.147	0.081
3523	İzmir	Urla	49	0.082	0.065	0.038
3533	İzmir	Menderes	51	0.075	0.047	0.038
3528	İzmir	Çeşme	58	0.120	0.152	0.078
3519	İzmir	Karşıyaka	69	0.153	0.112	0.035
3513	İzmir	Bayraklı	72	0.108	0.097	0.045

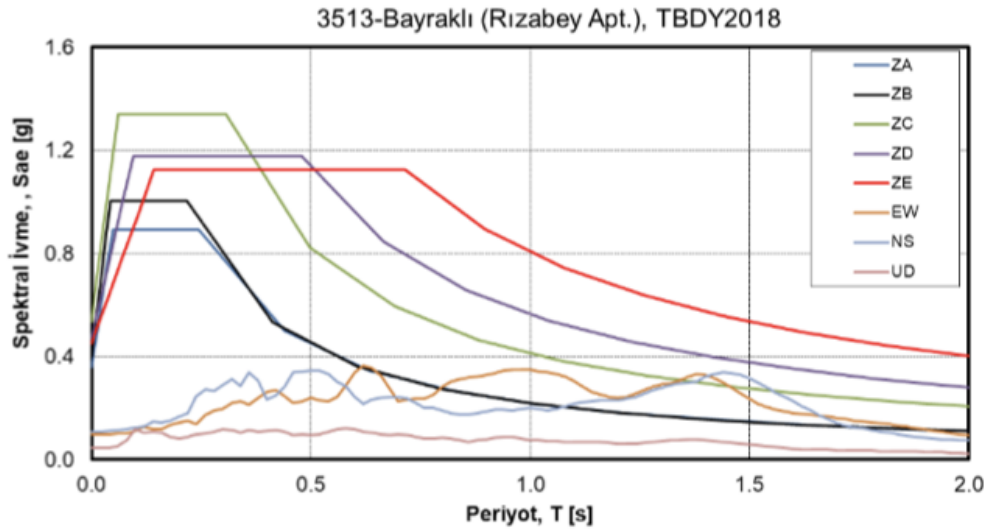
Görsel 9: İzmir Zemin Sıvılaşması Haritası [7]

Deprem esnasında, yer yüzeyinde meydana gelen en büyük ivme (hızlanma) değeridir. Şu an kullanmakta olduğumuz deprem tehlike haritasının bu değerler üzerine tasarlandığı biliniyor. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden Türkiye'nin her noktası için PGA değeri bulunabilir [9]. 30 Ekim 2020 İzmir Depreminde civarda bulunan ivme ölçerlerin konumları ve deprem sırasında ölçülen değerler aşağıda verilmiştir.



Görsel 10: İstasyonlarda ölçülen ivme değerleri [8]

Deprem sırasında ölçülen PGA (Peak Ground Acceleration) değerleri, yer hareketinin şiddetini ve dolayısıyla deprem etkilerinin büyüklüğünü belirlemek için önemli bir parametredir. İzmir'de gerçekleşen 30 Ekim 2020 depremi sırasında, farklı bölgelerde ölçülen PGA değerleri dikkatlice incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, Aydın ilinde en yüksek PGA değeri 0.183g olarak kaydedilmiştir. Depremde en fazla hasar gören bölge olan Bayraklı ilçesinde ise en büyük PGA değeri 0.108g olarak ölçülmüştür. Türkiye Deprem Tehlike Haritası incelendiğinde, İzmir bölgesi için öngörülen en yüksek PGA değeri 0.4g ile 0.5g arasında değişmektedir. Bu değer, bölgedeki yapıların tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. İzmir'de yıkıma uğrayan binalardan biri olan Rızabey Apartmanı için yapılan tasarımda kullanılacak PGA değeri, Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınarak belirlenmiş ve tasarım sürecinde bu değer esas alınmıştır. Deprem sonrası yıkımın seviyesinin anlaşılabilmesi için, bu tür PGA değerlerinin dikkate alınarak yapılan zemin ve yapı analizi önem taşımaktadır. Ayrıca, yerel zemin özellikleri ve yapının dayanıklılığı da bu değerlerin etkisiyle şekillenir.



Görsel 11: Rızabey Apt. PGA değerleri (2018 Deprem Haritası) [9]

Rızabey Apartmanı için yapılan PGA analizi, zemin tipine bağlı olarak ivme değerlerinin 0.4g ile başladığını ve bu değer zemin tipine göre arttığını ortaya koymuştur. Deprem sırasında ölçülen en yüksek ivme değeri 0.108g olup, bu değer, tasarım için

öngörülen PGA değerinin oldukça altında kalmıştır. Ancak, bu düşük ivme değeriyle karşılaştırıldığında bile apartmanda meydana gelen yıkıcı etkiler, yapının tasarımındaki ve inşaat kalitesindeki eksikliklerin bir sonucu olarak değerlendirilmiştir. Bu durum, depremde yapısal hasarın büyük ölçüde yapı kalitesinin ve kullanılan malzemelerin dayanıksızlığının etkisiyle meydana geldiğini göstermektedir. İzmir Depremi, jeoteknik mühendisliğinin ve zemin raporlarının bina tasarımı üzerindeki kritik önemini bir kez daha gözler önüne sermiştir. Zemin analizlerinin ve PGA verilerinin doğru ve titizlikle yapılması, güvenli yapıların inşa edilmesinde temel bir gerekliliktir. Ayrıca, zemin sınıfı ve diğer jeoteknik faktörlerin doğru bir şekilde belirlenmesi, deprem risklerinin minimize edilmesinde etkili bir rol oynamaktadır. Bu tür verilerin doğru bir şekilde kullanılması, olası depremler karşısında yapıların daha dayanıklı hale gelmesini sağlayacaktır.



Görsel 12: Yıkılan Rızabey Apartmanı [9]

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

30 Ekim 2020 İzmir Depremi, birçok jeoteknik ve mühendislik açısından önemli veriler sunmuş ve jeoteknik mühendisliğinin kritik konularını gözler önüne sermiştir. Bu çalışmada, levha hareketleri, fay türü, sismik dalgalar, büyüklük, şiddet, eşşiddet, hiposantr, episantr, odak derinliği, zemin sınıfı, zemin büyütmesi, zemin sıvılaşması ve yer ivme hareketi gibi temel konular detaylıca incelenmiştir.

Çalışmanın başında, levha hareketleri ve fay türlerinin depremin oluşumundaki rolü vurgulanmış, ardından sismik dalgalar ve büyüklük gibi dinamik parametreler üzerinde durulmuştur. Şiddet ve eşşiddet haritaları ile depremin sosyal ve maddi etkileri

açıklanmış, hiposantr ve episantr arasındaki farklar ile odak derinliği ile ilişkili bilgiler verilmiştir. Zemin özelliklerinin etkisi üzerine yapılan analizlerde, zemin sınıfı, zemin büyütmesi ve zemin sıvılaşması gibi konular ayrıntılı şekilde tartışılmıştır. Bu başlıkların deprem sırasında nasıl bir etki oluşturduğuna dair elde edilen veriler incelenmiştir. Ayrıca, deprem sırasında kaydedilen yer ivme hareketi (PGA) değerleri, bölgedeki zemin tipi ve yapıların davranışıyla ilişkilendirilerek yorumlanmıştır. 30 Ekim 2020 İzmir Depremi, sadece İzmir ve çevresi için değil, tüm Türkiye için önemli dersler içermektedir. Deprem verilerinin doğru analiz edilmesi, zemin sınıfı ve yapı kalitesinin dikkate alınarak bina tasarımının yapılması gerektiğini bir kez daha kanıtlamıştır. Geoteknik mühendisliğinin, deprem risklerini minimize etmek için temel bir rol oynadığı ve doğru zemin analizi, yapı tasarımı gibi unsurların titizlikle ele alınması gerektiği vurgulanmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] Aslaner, M., Colak, F., *Earthquakes with Magnitude $M \geq 6$ in Izmir in the Republican Era*, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(2), 331-351, December 2023.
- [2] B.Ü. Kandilli Rasathanesi Ve Dae. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme Ve Değerlendirme Merkezi, *30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi*, Erişim: 15 Aralık 2024 <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/30-ekim-2020-mw6-9-ege-denizi-izmir-depremi/>.
- [3] Eyidoğan, H., *Türkiye'nin Diri Fay Yapısı ve Depremsellik Özellikleri*, Bilim ve Gelecek Kitaplığı, 26-36 ,November 2011.
- [4] Temblor, *Fault responsible for Samos earthquake identified*, Erişim: 12 Aralık 2024 <https://temblor.net/earthquake-insights/fault-responsible-for-samos-earthquake-identified-12040/>.
- [5] USGC Earthquake Hazards Program '*M 7.0-13 km NNE of Néon Karlovásion, Greece*' Erişim: 13 Aralık 2024.
- [6] *30 Ekim 2020 Sisam Adası (İzmir Seferihisar Açıkları) Mw 6.6 Depremi Raporu*, AFAD deprem dairesi başkanlığı, Aralık 2020
- [7] İzmir Büyükşehir Belediyesi '*İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı*' Erişim: 12 Aralık 2024 <https://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/> .
- [8] AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Uygulama
- [9] Caglar, N., Kırtel, O., Vural, D., Sumer, Y., Saribiyik, A. *30 Ekim 2020 Mw 6.6 Ege Denizi Seferihisar (İzmir) Depremi İnceleme Ve Değerlendirme Raporu*, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Deprem Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi – DAMER, 11 Kasım 2020.

DECARBONIZATION AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY STRATEGIES IN THE SHIPBUILDING INDUSTRY

Enes Tekelli

Istanbul Technical University, tekelli21@itu.edu.tr - 0009-0009-2183-0365

Prof. Dr. Ayhan Menteş

Istanbul Technical University, mentes@itu.edu.tr - 0000-0003-1177-3212

ABSTRACT

With the rapid advancement of industrialization in the past century, carbon emissions have significantly increased, becoming one of the main drivers of global warming and climate change. According to IPCC reports, the global temperature has risen by approximately 1°C over the last 50 years, largely due to greenhouse gas (GHG) emissions. In response, many sectors have committed to achieving net-zero carbon emissions by 2050. The shipbuilding and maritime sector, due to its high energy consumption and reliance on fossil fuels, accounts for around 3% of global GHG emissions. In this context, decarbonization and environmental sustainability strategies in shipyards have gained increasing importance in reducing environmental impact and achieving long-term cost advantages.

In this study, the carbon footprint of a shipyard operating in Türkiye was calculated using the GHG Protocol methodology. Based on the identified major emission sources, applicable strategies were developed, and both the annual carbon reduction potential and cost-benefit analyses of each strategy were conducted. These strategies include the implementation of renewable energy systems, hybrid work models, the use of electric vehicles, rainwater harvesting, and supply chain optimization. The results aim to guide companies in the shipbuilding sector toward reducing their carbon footprint and adopting more sustainable practices.

Keywords : Decarbonization, Carbon footprint, Sustainability, GHG Protocol

1. INTRODUCTION

Maritime transportation carries about 80% of global trade and, despite its fuel efficiency, contributes 2.5–3% of global greenhouse gas (GHG) emissions (IMO, 2020). The International Maritime Organization (IMO) targets a 50% reduction in shipping emissions by 2050 compared to 2018 levels. Türkiye has set a 2053 net zero emission target, leading to national initiatives such as the Climate Council under the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. These efforts have placed significant responsibilities on the maritime sector, emphasizing the importance of carbon footprint calculation and reduction, including both direct and indirect emissions.

While improving operational efficiency is essential, emissions from the shipbuilding phase—due to energy-intensive activities like welding, painting, and testing—are also significant and must be addressed. Shipbuilding processes contribute to emissions through electricity use, industrial gases, and fuel consumption. Hydrodynamic, structural, and manoeuvring

simulations conducted during the design phase result in indirect CO₂ emissions due to high electricity consumption. During the material supply process that begins after design approval, the transportation of steel plates by diesel trucks generates additional emissions. Energy consumption and industrial gas usage during steel cutting and panel production result in significant emissions. The protective gases and electricity consumption used during welding operations contribute to both direct and indirect emissions. Welding and electrical work carried out during block assembly and outfitting increase emissions. System checks conducted during the start-up and testing phase, particularly during sea trials, result in high levels of NO_x, SO_x, and CO₂ emissions due to intensive fuel consumption.

Accurate carbon footprint assessments at every stage are crucial for developing effective decarbonization strategies. Evaluating the environmental and economic impacts of these strategies is key to achieving sustainability in shipyards.

2. LITERATURE RESEARCH

Vakili et al. (2023) propose a holistic approach to reducing carbon emissions in the shipbuilding industry, which is divided into the following three sections: energy supply, energy economics, and energy ecosystem. The merits of this approach are evidenced by the findings of a case study conducted in a shipyard in Italy, which demonstrated environmental and economic benefits. Afiuddin et al. (2022) sought to contribute to sustainable production by focusing on non-operational emissions through life cycle analysis (LCA) in shipyards in Indonesia. Harish and Sunil conducted a comprehensive examination of energy consumption across the entire life cycle of a ship. Their analysis identified shipbuilding, operation, and dismantling as the stages of the life cycle that require the greatest energy. They recommended the utilisation of recyclable materials and renewable energy sources as key strategies to reduce energy consumption. Kozmar et al. (2018) conducted a study which concluded that solar energy is the most suitable renewable energy source for a shipyard in Croatia, with a payback period of seven years.

3. CARBON FOOTPRINT CALCULATION

This study is about Turkey's leading tugboat shipbuilding company. It has two shipyards in Tuzla (Istanbul) and Altinova (Yalova) and operates ports with towing and pilotage services. It has almost 500 permanent staff, and at certain times of year it employs about 1,500 subcontractors.

Methods used for carbon footprint were examined. Among the methods examined, the GHG Protocol and ISO 14064 procedures are widely used, but the GHG Protocol is practical for calculating a company's footprint and is used by many reputable companies around the world (WRI & WBCSD, 2004; ISO, 2018). Emission sources were identified by company officials, and the calculation phase was initiated.

The GHG Protocol classifies greenhouse gas emissions into three scopes: Scope I includes emissions from sources under the company's control, such as stationary combustion, mobile combustion, gases used in production processes, and greenhouse gases from HVAC systems. In Scope I, it was determined that the maritime company emitted **13.864 tonnes** of carbon in 2023.

In Scope II, the carbon emissions released into the environment from the company's indirect use of energy sources for electricity needs were calculated, and the electricity needs of Altınova, Tuzla, and pilotage services for 2023 were determined and their carbon equivalents were calculated. The company's carbon equivalent for Scope II in 2023 is **4.186 tonnes**.

Scope III includes data on carbon emissions indirectly caused by the company. Scope III includes fuel consumption from the transportation of externally sourced products, fuel consumption during the delivery process of the tugboats, fuel for employees' buses, electricity consumption of products, business travel, transportation of waste to the waste disposal company, and carbon emissions from maintenance and repair services. For 2023, the carbon emissions for Scope III are **6.850 tonnes**.

The total carbon equivalent of the maritime company is 24,900 tonnes. Carbon footprint calculations have made it possible to clearly identify the emission sources resulting from the company's activities. The calculations have revealed areas for improvement in the carbon footprint. In particular, high fuel consumption in electricity use, logistics processes, and fuel consumption from employee transportation are priority targets for emission reduction. As a result, environmentally friendly practices such as the use of solar energy, working with local suppliers, adopting a hybrid work model, and transitioning to electric vehicles can be effective in both reducing environmental impacts and achieving long-term economic benefits.

Table 1 : Total emissions of maritime company.

SCOPES	% (PERCENTAGE)	AMOUNT	UNIT
Scope I	55,68	13863,93	ton CO ₂ e
Scope II	16,81	4186,73	ton CO ₂ e
Scope III	27,51	6849,42	ton CO ₂ e
TOTAL		24900,8	ton CO ₂ e

4. REDUCING EMISSIONS IN SHIPBUILDING

One of the most important steps in combating climate change is reducing carbon footprints at the corporate level. As an energy-intensive industry, shipbuilding is a significant source of greenhouse gas emissions. Due to its high energy consumption, it is crucial for shipyards to develop emission reduction strategies in terms of environmental sustainability and competitiveness.

This section examines the main emission sources identified through carbon footprint calculations and short- and medium-term reduction strategies specific to shipyards. The feasibility of implementing applications such as solar energy system installation, hybrid working models and conversion to electric vehicles increasing the potential for working with local suppliers has been evaluated.

4.1 Solar Energy System

One of the most effective ways to reduce carbon footprint at a corporate level is to use renewable energy. Among these sources, solar energy stands out for being environmentally friendly, economical and feasible. It offers zero-emission production compared to fossil fuels.

In this context, the installation of a solar power plant at the relevant shipping company has been planned, and a cost-benefit analysis has been conducted. The installation is proposed to be carried out on the flat and suitable roof of a workshop with an area of 1,978 m². This area presents significant potential for solar panel applications, suitable for installation, measuring approximately 105 m x 19 m and 1,978 m² in total. This area offers a significant potential for the installation of solar panels.

Following the site survey, discussions were held with the technical team of the shipyard's electricity distribution company. It was specified that a gap of 0.5–1 metre should be left between the panels to prevent shading, that an appropriate angle of inclination should be used, and that a service area should be provided for maintenance. Based on these conditions and the roof structure, it was calculated that a solar power plant with a capacity of 105 kWp could be installed.

The cost of the panels is \$685, and the total cost of the system, including installation, service, maintenance, and repair, is \$72,130. The electricity consumption of 1,420,370 kWh is derived from the total electricity bills of the shipyard in Tuzla. The total annual electricity production is the amount of electricity that will be generated by solar panels, calculated by taking into account the monthly hours of sunshine, and amounts to 110 MWh of annual electricity production. This results in an annual profit of 480,000 Turkish lira.

According to manufacturer data, panel efficiency will decrease over time, so annual electricity production has been analysed accordingly. The payback analysis for solar energy investment has been carried out based on the upward trend in electricity prices. Over the last 10 years, sharp and irregular increases in electricity prices have been observed in Turkey, so scenarios have been created instead of regression analysis.

In the optimistic scenario, assuming an annual price increase of 20%, the payback period was calculated to be approximately 3.99 years. With a higher inflation assumption (50% increase), this period decreases to 3.18 years. The impact of exchange rate fluctuations has not been included in the analysis.

As demonstrated by the above calculation, generating approximately 110 MWh of electricity from renewable energy sources per year equates to preventing the emission of around 80 tons of CO₂e per year. From an economic perspective, the expected return on investment is anticipated to be realised within a timeframe of between 3.18 years and 4 years. For a sustainable policy and environmentalist approach, solar energy has been found to be beneficial. As demonstrated by the calculation, generating approximately 110 MWh of electricity from renewable energy sources per year equates to preventing the emission of around 80 tons of CO₂e per year. For a sustainable policy and environmentalist approach, solar energy has been found to be beneficial.

4.2 Hybrid working model

The shipyard's carbon footprint assessment shows that 19% of Scope III emissions come from employee transportation. To reduce this share, implementing a hybrid work model was considered a potential solution. A cost-benefit analysis was conducted for hybrid working to investigate both environmental and economic contributions. Upon examining the shipyard's organisational structure, it is estimated that 130 jobs are suitable for hybrid work.

The shipyard is in operation six days a week. The decision to divide the 130 employees into three groups has resulted in a significant reduction in bus usage, with buses now only being used twice a week. This has effectively eliminated the need to assign two buses (46 seats) from the designated employee shuttle services. The average round-trip mileage for all shuttle services was calculated to be 60 km per day. In this scenario, with 26 working days in a month, the 46-seat buses would have travelled 1,560 km, which is prevented. This equates to an annual fuel saving of 18,720 km. Furthermore, when considering two buses, this equates to a fuel saving of 37,440 km. The emissions avoided by this strategy amount to 91,589 tonnes.

Based on an average diesel consumption of 20 litres per 100 km for 46-seater buses, this translates to a fuel saving of 7,488 litres over 37,440 km. With an average annual diesel price of 28.75 Turkish lira in 2023, this represents an annual saving of 215,000 Turkish lira. On the cost side, household electricity usage should be considered. Company laptops consume approximately 0.8 kWh per 8-hour workday, which equates to an estimated 18 kWh per employee per month. Assuming an average electricity cost of 2 Turkish Lira per kWh in 2023, this results in an annual cost of 39,000 Turkish Lira.

The hybrid operating model is a cost-effective and environmentally sustainable solution, as the cost-benefit analysis clearly shows. In addition, the strategy is estimated that this will decrease the carbon emission in the transport of employees in Scope III by 15 per cent in the carbon emissions.

4.3 Conversion to electrical vehicles of the company

The annual carbon footprint of diesel and petrol vehicles allocated to managers in the company has been calculated to be approximately 33 tonnes of CO₂e. Upon the rental costs of electric vehicles reaching similar levels to those of fossil fuel vehicles, the environmental and economic impacts were compared under equivalent usage conditions.

In the analysis, the annual fuel consumption of existing vehicles was examined in litres, while the annual consumption of electric vehicles was examined in kilometres. It was assumed that diesel vehicles consume 5.4 litres per 100 km, petrol vehicles consume 6.5 litres per 100 km, and electric vehicles consume 16.9 kWh per 100 km. As a result of these calculations, the annual consumption of electric vehicles was found to be approximately 34 MWh.

When using Turkey's 2021 national grid emission factor (0.7279 kg CO₂e/kWh), the total emissions of electric vehicles decrease to 24 tonnes of CO₂e. This results in a 25% reduction in carbon emissions and a 65% reduction in fuel costs. The table based on 2023 fuel and electricity prices demonstrates that the transition is advantageous both environmentally and economically.

Table 2 : Cost benefit analysis of the strategy.

Company Vehicles	Electric Vehicles
32,934 ton CO ₂ e	24,810 ton CO ₂ e
203.778 ₺ Petrol Fuel	119.503,32 ₺ Electric Vehicle
135.082 ₺ Diesel Fuel	
₺ 338.861,71	₺ 119.503,32

4.4 Collaboration with local suppliers

Shipyards have a wide supply network because they cannot produce all components in-house. Therefore, optimising the supply chain and increasing the use of local resources are important for reducing logistics-related emissions and increasing sustainability. Local sourcing also provides shorter delivery times, more effective communication and economic advantages. This study analyses the carbon emission reduction and fuel savings that could be achieved by replacing products sourced from abroad with local alternatives in shipbuilding activities. The analysis focuses on products transported by road and evaluates the potential for sourcing from Turkish manufacturers. Main engines and imported products dependent on special customer requirements are excluded from the scope of this study. Such special cases require a more detailed analysis.

The shipyard produces approximately 25 tugboats per year, with production carried out across five different series. Supplies are made five times a year. By sourcing frequently used components from local suppliers instead of overseas, approximately 255,885 km of transport distance can be reduced annually. The use of local suppliers can prevent approximately 210 tonnes of CO_{2e} emissions. Additionally, considering that heavy vehicles consume 20–30 litres of diesel per 100 km, this reduction in distance translates to an annual fuel savings of 51,000–76,000 litres. This provides a cost advantage of approximately 1.46 to 2.18 million TL. Furthermore, logistics surcharges imposed by foreign suppliers will be eliminated, delivery times will be reduced, and potential communication issues will be minimised. As a result, significant operational efficiency and economic gains will be achieved alongside environmental benefits.

The shipyard produces approximately 25 tugboats per year, with production carried out across five different series. Deliveries for each series are repeated five times a year, despite specific equipment requirements, by working with the same suppliers. A list of foreign suppliers on a ship was requested from shipyard officials, and the distance in kilometres between these companies and the shipyard was determined. By obtaining ship equipment from local suppliers instead of overseas suppliers, the transport distance can be reduced by approximately 255,885 kilometres per year.

According to DEFRA, partially loaded heavy-duty vehicles emit an average of 0.82313 kg CO_{2e} per kilometre. Based on this assumption, the use of local suppliers could prevent approximately 210 tonnes of CO_{2e} emissions. Additionally, considering that heavy vehicles consume 20–30 litres of diesel per 100 km, this reduction in distance translates to an annual fuel savings of 51,000–76,000 litres. This provides a cost advantage of approximately 1.46 to 2.18 million TL. Furthermore, logistics surcharges imposed by foreign suppliers will be eliminated, delivery times will be reduced, and potential communication issues will be minimised. As a result, significant operational efficiency and economic gains will be achieved alongside environmental benefits.

5. RESULTS AND DISCUSSION

Nowadays, calculating corporate carbon footprints is one of the important responsibilities that organisations must undertake to prevent global warming and climate change. This study

evaluates the carbon footprint of a shipyard in Turkey in accordance with the Greenhouse Gas Protocol, within the framework of Scope 1, Scope 2 and Scope 3 emissions. The results not only provide a comprehensive overview of emission sources but also serve as a guide by highlighting both environmentally and economically viable emission reduction methods.

Within Scope 1 emissions, the maritime company is responsible for approximately 13,864 tonnes of CO₂e emissions annually. The largest portion of these emissions, accounting for approximately 54% of the total, stems from the operational activities of tugboat engines. Fuel consumption during sea trials accounts for 13% of total emissions, while CO₂e emissions from material extraction during the shipbuilding process contribute approximately 3% of the total. The remaining 8% is distributed across various small-scale emission sources.

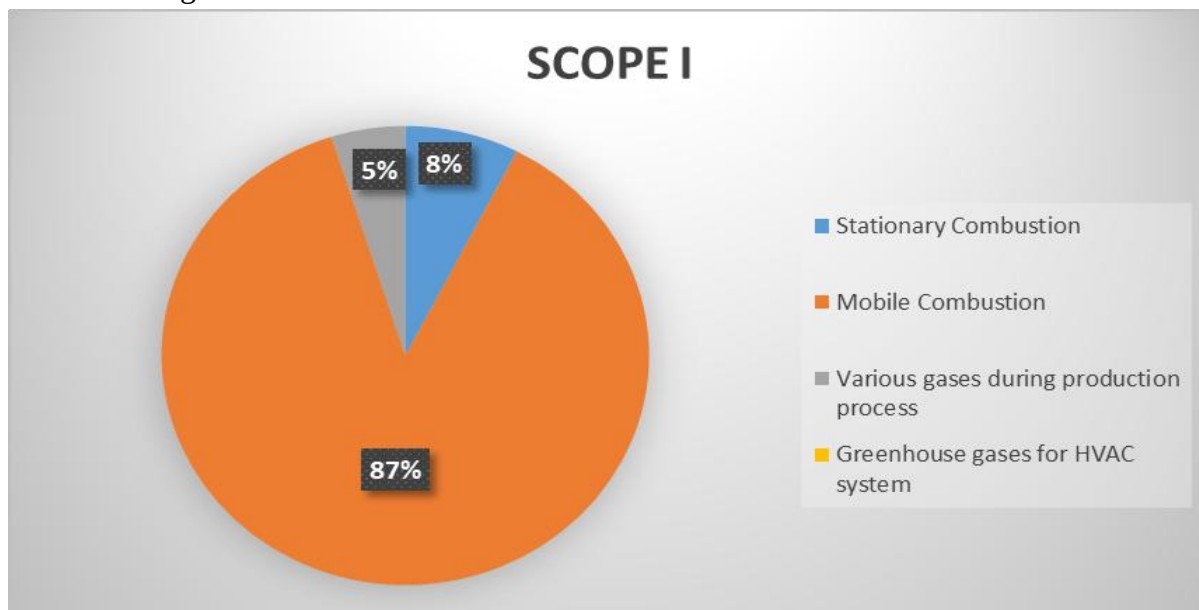


Figure 3 : Share of Scope I emitting sources.

Scope 2 emissions, which represent indirect greenhouse gas emissions from consumed electricity, total approximately 4,186 tonnes of CO₂e. Within this category, Altinova Shipyard emerges as the predominant consumer, accounting for 75% of the aggregate Scope 2 emissions. The Tuzla shipyard is responsible for 20 per cent of this total, with the balance of 5 per cent being attributable to ships receiving port services.

Scope 3 emissions, which cover indirect emissions in the shipyard's value chain, are mainly based on transportation and fuel consumption. 44% of emissions come from engine fuel used in tugboat deliveries, while 22% come from the transportation of products from abroad. Employee shuttle vehicles contribute 19%, while electricity used for the installation and operation of ship equipment accounts for 11%. The remaining 4% is attributed to other various indirect sources. This distribution clearly highlights the impact of activities beyond the shipyard's direct control on its carbon footprint.

The maritime company's total carbon footprint is approximately 24,900 tonnes of CO₂e, of which 56% (13,864 tonnes) is Scope I emissions, 17% (4,186 tonnes) is Scope II emissions, and 27% (6,850 tonnes) is Scope III emissions. This distribution highlights the significant weight of emissions directly linked to fuel consumption, while also revealing that indirect

emissions from electricity consumption, employee transportation, and logistics account for a notable share.

One of the most effective measures for emission reduction is a solar energy system with an annual CO₂e savings of approximately 80 tonnes, a cost of 72,130.50 \$, and a payback period of 3.2–4 years. In transportation, the hybrid work model has reduced CO₂e emissions by 91,589 tons annually at a low cost and saved €215,280, while the transition to electric vehicles has resulted in a 25% reduction in emissions and an annual economic gain of €219,358.39. Optimising the supply chain by shifting to local suppliers has prevented approximately 210 tonnes of CO₂e emissions annually, resulting in economic benefits ranging from €1,466,000 to €2,185,000.

These data indicate that integrated and cost-effective carbon reduction strategies hold significant potential in the shipbuilding industry for both environmental sustainability and operational efficiency.

The strategies implemented have strengthened the shipyard's environmental sustainability while improving its economic performance. The combination of short-term measures that generate financial gains and long-term applications that build environmental resilience demonstrates a comprehensive decarbonisation approach based on renewable energy, efficient use of own resources and a local supply chain, setting an example for the sector.

6. CONCLUSION

This study has proven that the carbon footprint of shipyards can be calculated using the GHG Protocol. The short-term plans made using the information were checked to see how much they would affect the environment and how much they would cost, and it was found that they could cut about 390 tonnes of CO₂e every year. Most of this reduction comes from emissions from Scope II and III, while the use of renewable energy, electric vehicles, a hybrid working model, and local sourcing provided environmental and financial benefits.

It is recommended that future studies compare these strategies across different shipyards, consider long-term scenarios and investigate the impact of employee awareness and digitalisation with new production techniques (e.g. robotic welding, energy recovery) on emissions. Finally, study is a useful guide for stakeholders looking to develop realistic and affordable carbon reduction plans in the shipbuilding industry.

REFERENCES

- Afiuddin, A. E., Hardiyanti, F., Ayona, I. Y., Sarena, S. T., & Dermawan, D. (2023). Identification of greenhouse gases emissions from shipyard activity in Lamongan, Indonesia. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 1265(1), 012014.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1265/1/012014>
- Chatzinikolaou, S. D., Ventikos, N. P., & Laboratory for Maritime Transport, National Technical University of Athens, Greece. (n.d.). Assessing Environmental Impacts of Ships from a Life Cycle Perspective. In Laboratory for Maritime Transport, National Technical University of Athens, Greece [Journal-article].

Kozmar, H., Tomić, M., & Hadžić, N. (2017). FEASIBILITY OF INVESTMENT IN RENEWABLE ENERGY SYSTEMS FOR SHIPYARDS. *Brodogradnja*, 69(2), 1–16. <https://doi.org/10.21278/brod69201>

IEA. (2023). World Energy Outlook 2023. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ed1e4c42-5726-4269-b801-97b3d32e117c/WorldEnergyOutlook2023.pdf>

IMO. (2018). Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. International Maritime Organization.

International Maritime Organization (IMO). (2020). Fourth IMO GHG Study 2020.

IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change.

MacNeil, J.L.; Adams, M.; Walker, T.R. Development of Framework for Improved Sustainability in the Canadian Port Sector. *Sustainability* 2021, 13, 11980. <https://doi.org/10.3390/su132111980>

World Resources Institute (WRI) & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2004). The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition).

Vakili, S. V., Ölçer, A. I., & Schönborn, A. (2021). Identification of Shipyard Priorities in a Multi-Criteria Decision-Making Environment through a Transdisciplinary Energy Management Framework: A Real Case Study for a Turkish Shipyard. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(10), 1132. <https://doi.org/10.3390/jmse9101132>

Vakili, S., Schönborn, A., & Ölçer, A. I. (2023). The road to zero emission shipbuilding Industry: A systematic and transdisciplinary approach to modern multi-energy shipyards. *Energy Conversion and Management X*, 18, 100365. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100365>

Villalba, G., & Gemechu, E. D. (2011). Estimating GHG emissions of marine ports—the case of Barcelona. *Energy Policy*, 39(3), 1363–1368. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.12.008>

Tekelli, E. (2025). Decarbonization and sustainability strategies in the shipbuilding industry (Unpublished master's thesis). Istanbul Technical University.

UK Government. (2023). GHG conversion factors 2023 condensed set update. *UK Government Publications*. <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/649c5340bb13dc0012b2e2b6/ghg-conversion-factors-2023-condensed-set-update.xlsx>

TÜRKİYE’DE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİNİN DEMİRYOLLARINDA UYGULANMASI

İnşaat Mühendisi,AYKUT TOPÇU

Yıldız Teknik Üniversitesi, aykut.topcu @std.yildiz.edu.tr - 0009-0002-6239-7624

Arş. Gör. Dr.ONUR ŞAHİN

Yıldız Teknik Üniversitesi, sahino@yildiz.edu.tr- 0000-0002-4574-9272

ÖZET

Ulaştırma, toplumsal yapı ve ekonomik kalkınma üzerinde doğrudan etkili olan stratejik bir sektördür. Ulaşım faaliyetlerinin sürdürülebilir, güvenli ve verimli bir biçimde yürütülebilmesi, büyük ölçüde akıllı ulaşım sistemlerinin entegrasyonu ve etkin kullanımı ile geliştirilebilir. Karayolu, denizyolu gibi diğer ulaşım alanlarında olduğu gibi raylı sistemlerde de akıllı teknolojiler yaygın şekilde benimsenmekte ve sürekli gelişen dinamik yapısıyla sistem performansına katkı sağlamaktadır. Raylı sistemlerde; istasyon altyapıları, demiryolu hatları, raylı sistem araçları içi sistemler ve merkezi yönetim birimleri gibi alt bileşenlerde akıllı ulaşım sistemleri uygulama alanı bulmaktadır. Araç kontrol ve yönetimi, yolcu hizmetleri, acil durum müdahale süreçleri ve işletme planlaması gibi temel işlevlerde kullanılan bu sistemler; mevcut altyapının ve üstyapının daha güvenli, verimli ve optimize bir biçimde kullanılmasıyla birlikte sefer saatlerinde iyileştirmeler gibi birçok gelişmeye olanak tanımaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de demiryolu endüstrisinde kullanılmakta olan ve geliştirilmekte olan temel akıllı ulaşım sistemleri ele alınmış ve bu sistemlerin kullanım düzeyi ile yaygınlığı diğer ülkelerle kıyaslamalar üzerine değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Demiryolu hattı, akıllı ulaşım sistemleri, raylı sistemler, demiryolu araçları

1. GİRİŞ

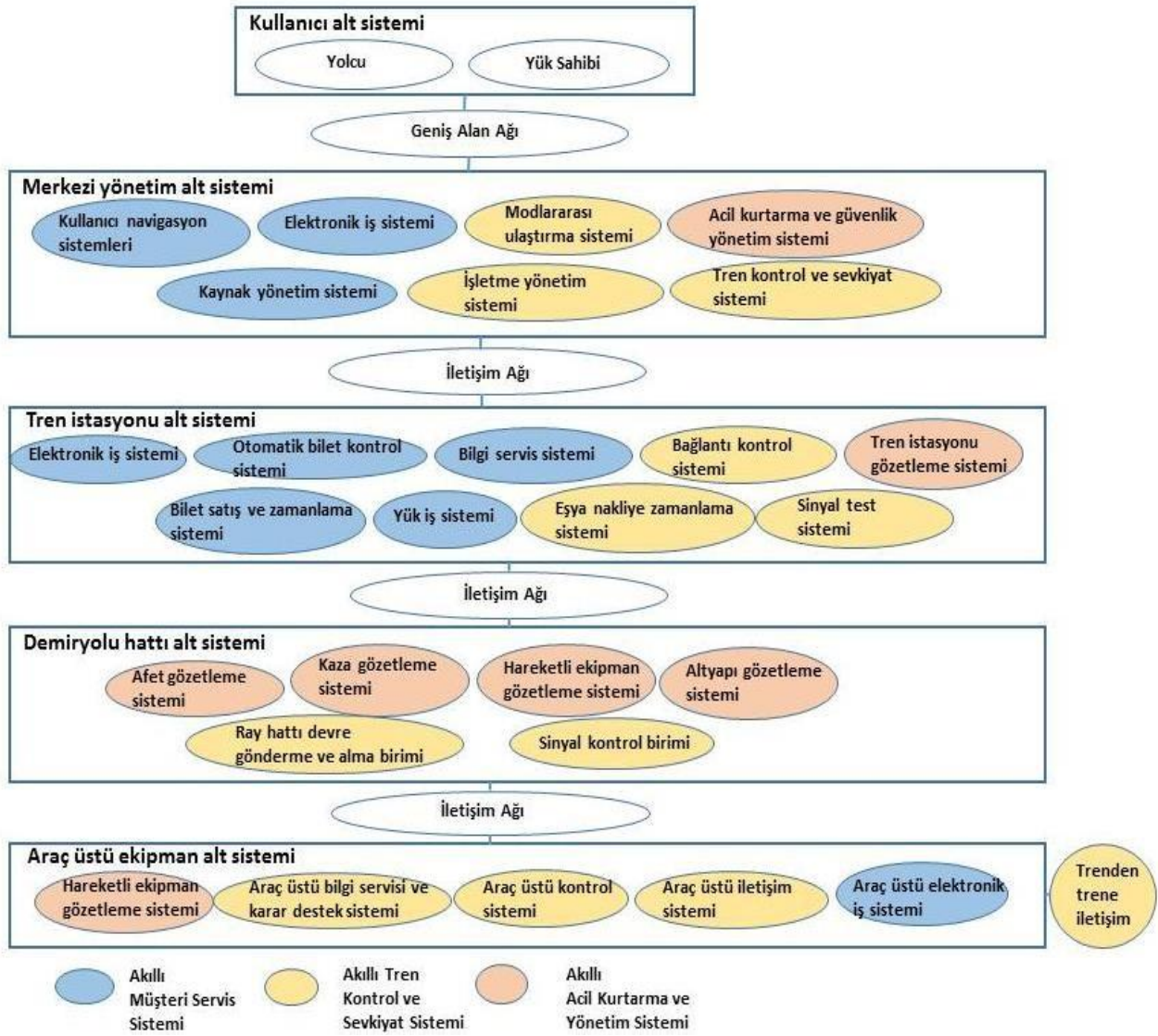
Ulaştırma sistemleri, bireylerin günlük yaşamı ve toplumun genel refahı üzerinde hem sosyal hem de ekonomik açılardan önemli etkilere sahiptir. Bu bağlamda, etkinlik, uygulanabilirlik, esneklik, güvenlik ve çevresel sürdürülebilirlik gibi unsurlar, modern ulaşım sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Türkiye’de ise son yıllarda ulaşım alanındaki altyapı yatırımlarında önemli bir artış yaşanmış; bu gelişim, stratejik planlama doğrultusunda, geleceğe dönük olarak akıllı ulaşım sistemlerinin entegrasyonunu gündeme getirmiştir. Söz konusu sistemlerin ilk yapım maliyetleri yüksek görülse de, uzun vadeli, kararlı ve sürdürülebilir bir gelişim için uygun teknolojilerin titizlikle seçilip hayata geçirilmesi gereklidir.

Akıllı ulaşım sistemleri (AUS) hatların daha verimli ve güvenli çalışmasını sağlayarak insan kaynaklı hataları en aza indirir. Her gün gelişen teknoloji ile pek çok alanda yen, uygulama imkanları bulan akıllı ulaşım sistemleri, demiryolu ulaşımında da etkin olarak kullanılmakta ve gelişimine devam etmektedir. Raylı sistem araçları, altyapı tasarımı, işletme ve bakım kontrolleri ve sinyal sistemleri alanlarında uygulamaları mevcuttur. Araçlarda bulunan sistemler, kontrol sistemleri, uydular ve araç iletişim sistemler AUS’un önemli parçalarındandır. AUS ile eklenen hizmetler sonrası, yolcu taşıma kapasite artışı, güvenli seyahat ve sefer sürelerinde iyileşme, yolcu memnuniyet seviyesinde artış, enerji verimliliği artışı ve günümüzün önemli sorunlarından olan karbon salınımı ile ilgili gaz salınımında düşüş gibi teknolojik ve ekonomik iyileştirmelere ulaşılmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (veya UYGULAMALAR)

2.1. Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Demiryollarındaki Yapısı

Şekil 1’de raylı sistemlerde akıllı ulaşım sistemlerinde kullanılan ana bileşenler yer almaktadır.



Şekil 1. Akıllı raylı ulaşım sistemleri temel bileşenleri [12]

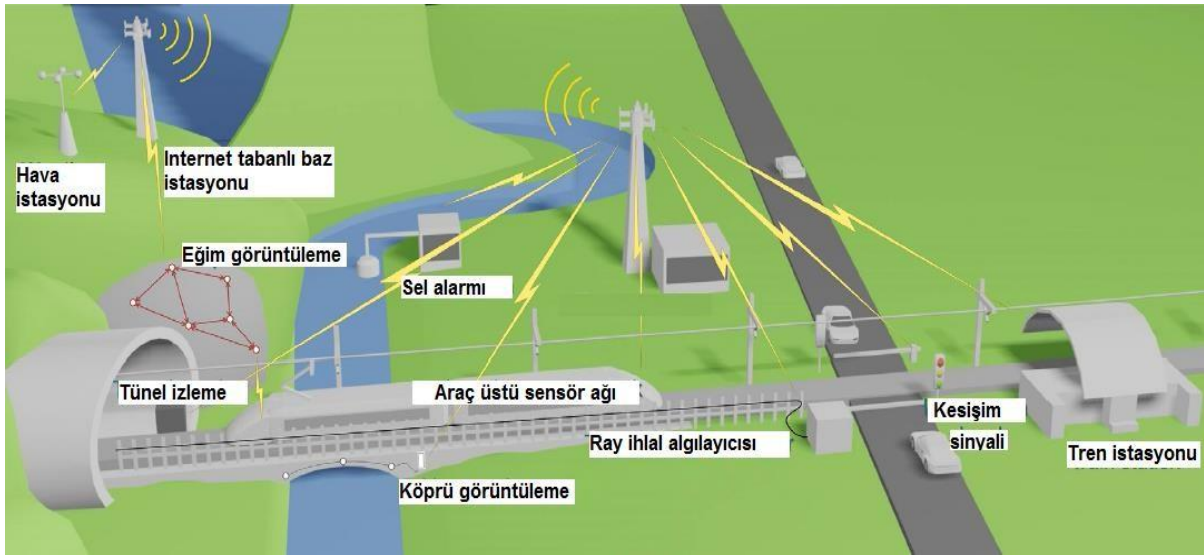
2.2. Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Demiryollarında Uygulanması

2.2.1. Bakım – onarım

Demiryollarında altyapı yatırımlarının yolculuk taleplerinin artması, demiryollarının ve araç sayılarında artışını desteklemektedir. Raylı sistemler altyapı ve kullanılacak araçlar gibi birçok alt sistemin birbiriyle uyumlu bir şekilde çalıştığı karışık sistemlerdir. Rutin bakım ve kontrol tekniklerinin uygulanması gerekmektedir. Ray ve ray bağlantı elemanları, traversler, makas yapıları, sinyal ve kontrol ekipmanları, katener hattı, raylı sistem araçları ve araç aksamalarının bakım ve kontrollerinin olası hata payları da göz önüne alınarak sıklıkla ve çalışan işçi personel ile kontrolü; AdamxSaat, maliyet konusunda verimliliği artırmak adına oldukça önemlidir. Bu konuda çeşitli teknikler kullanılarak tasarlanmış bakım ve işletme planlama sistemleri demiryollarında verimliliği artıran akıllı ulaşım sistemlerinin hangi alanda kullanıldığına örnek olarak verilebilir. [3].

2.2.2. Akıllı ulaşım sistemleri ekipmanları

Demiryolu işletmeleri, çalışanlarını ve yolcularını çeşitli güvenlik önlemleri ile korumaktadır. Demiryolu hatlarında güvenlik ihlalleri ve hatlara izinsiz girişlere karşı denetleme sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler optik fiberler, çok modlu pasif infrared ve mikrodalga sensörleri kullanılarak tespit sağlayan sistemler, giriş yasak olan hat bölgesi üzerine yasaklı girişleri tespit ederek ve işletme güvenliğini artırmaktadır [4]. Demiryollarında güvenliği artırmak için doğal afetler dâhil tüm riskleri değerlendiren ve karşılaşılabilecek olumsuz sonuçları engelleyen akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları kullanılmaktadır [5,6,7]. Şekil 2’de bu senaryoları dikkate alan algılayıcı akıllı sistemler yer almaktadır [12].



Şekil 2. Akıllı demiryolu sistemleri [12]

2.2.3. Sürücüsüz araç, sinyal ve bilgi sistemleri

Gelişmiş ülkeler çeşitli projelerle raylı sistemlerde akıllı ulaşım sistemlerinin yaygınlaşması için destek vermektedir. Avrupa Birliği’nin desteklediği Shift2Rail, demiryolu ürünlerinde araştırma ve olanı geliştirme üzerine çalışmalar yapacak ve bu çalışmalar sonrası ortaya çıkacak gelişmiş yeni teknoloji ürünlerin raylı sistemlere entegrasyonunu planlanmaktadır. Shift2Rail hem kamu ve hem özel sektör ortaklarının dâhil olduğu bir programdır. Bu program sayesinde yeni üretilen araçların maliyet açısından verimli, güvenilir ve teknolojik gelişmelere entegre çalışmaları hedeflenmektedir. Bu programın uzun vadeli sonuçları olarak %15 kapasite artışı, işletme güvenliği ve zamanında ulaşım konusunda

%50 iyileşme, sistemlerin enerji verimliliği konusunda %30 iyileşme, araç ve hat bakım maliyetlerinde %40 düşüş beklenmektedir. Bu projeler ile yeni üretilen çiplerle elektronik bileşenler kullanılarak, yüksek hız için motor tekerlek ve aktarma ekipmanlarını içeren yeni tren parçaları geliştirmek, kablosuz iletişim teknolojileri kullanarak trenlerin birbirine fiziksel olarak bağlanması ve ayrılmasını içeren güvenliği yüksek demiryolu araçlarının üretimini

sağlamak, yolcu, yük ve şehir içi trenlerin işletilmesi için enerji verimliliği sağlayan sistemlerin tasarımı programın asıl amaçlarından [8].

Sinyalizasyon ve araç kontrolü konularında, Avrupa Demiryolu Trafik Yönetim Sistemi (ERTMS) ve Avrupa Tren Kontrol Sistemlerinin (ETCS) gelişimi için Avrupa Birliği çeşitli projelerle 2007-2013 periyodunda bir milyar Euro'nun üzerinde destek vermiştir [18].

2.2.3.1. Otomatik tren koruma (ATP)

Trenin, hız limitini aşarak bir tehlike sinyalini geçme riski söz konusu olduğunda, sürücü sesli uyarılar ve hedef hız göstergesi aracılığıyla bilgilendirilir. Eğer sürücü bu uyarılara yanıt vermezse, sistem otomatik olarak frenleme işlemini başlatır. Bu süreçte trenin hızı ve konumu esas alınarak değerlendirme yapılır. Sistemin kullanabileceği azami hız ve konum bilgileri, geleneksel olarak kodlanmış ray devreleri üzerinden iletilmekteydi; ancak günümüzde bu bilgiler çoğunlukla radyo sinyalleri aracılığıyla aktarılmaktadır [14].

Bu tür bir güvenlik sistemine sahip trenler en az GoA1 (Otomasyon Seviyesi 1) düzeyinde çalışmaktadır. Bu seviyede, trenin kapılarının açılması ve kapanması, hareket ettirilmesi ve hızının kontrolü tamamen makinist tarafından sağlanır. GoA2 düzeyinde ise sürücü müdahalesi azalmıştır; makinist yalnızca kapı kontrolü ve trenin perondan güvenli ayrılışından sorumludur. Bu düzey, genellikle 'yarı otomatik tren işletimi' (STO - Semi-Automatic Train Operation) olarak adlandırılmaktadır. Türkiye'de bu seviyeye örnek olarak M2 (Yenikapı-Hacıosman), M3 (Kirazlı-Başakşehir), M4 (Kadıköy-Kaynarca) ve M6 (Levent-Hisarüstü) metro hatları gösterilebilir.

GoA3 seviyesinde makinist bulunmaz. Bu durumda trenin işletimi tamamen sinyalizasyon sisteminin kontrolündedir. Kapıların kapatılması ve trenin hareketi bir görevli tarafından sağlanır. M4 hattı, bu seviyede işletim için gerekli altyapıya sahiptir [15].

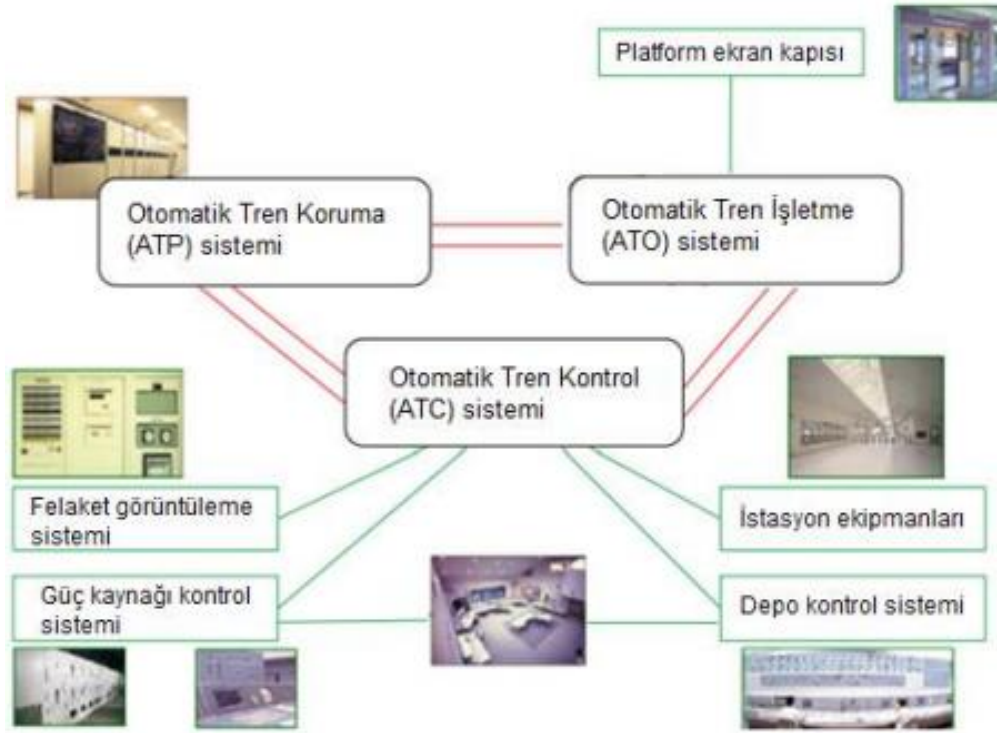
2.2.3.2. Otomatik tren işletme (ATO)

Otomatik tren işletme sistemleri (ATO), tren operasyonlarının daha güvenli ve verimli biçimde gerçekleştirilmesini sağlayan teknolojilerdir. Genellikle metro sistemleri ve otomatik geçitlerle entegre şekilde kullanılır. Pek çok sistem, olası arızalar ve acil durumlar karşısında riski azaltmak amacıyla sürücü desteğiyle çalışmayı tercih eder [14]. ATO, sürücünün görevlerinin büyük bölümünü üstlenen tam otomatik bir sistemdir. Bu sistem GoA2 seviyesinde sınıflandırılır. ATO'nun gelişmiş versiyonlarında, kapıların kapatılması gibi belirli işlemler de bilgisayar denetimiyle yürütülebilir; bu uygulama GoA3 seviyesine karşılık gelir [16].

2.2.3.3. Otomatik tren kontrolü (ATC)

ATC sistemleri, trenlerin merkezi kontrol merkezleri aracılığıyla kapsamlı ve otomatik olarak izlenmesini sağlar. Bu sistemler; tren takibi, rota planlaması ve dağıtım işlemleri gibi fonksiyonları yerine getirerek sürücüsüz çalışmaya olanak tanır [14]. ATC sistemine sahip trenler, en yüksek otomasyon düzeyi olan GoA4 seviyesine (Gözetimsiz Tren İşletimi – UTO) karşılık gelir. Bu sistemler, trenler arasındaki mesafeyi optimize ederek işletme süresini ve ortalama hızı artırır. Bu iyileştirme, trenin önündeki engelleri yüksek hassasiyetle tespit edebilen sensörler sayesinde gerçekleşir. Çünkü bir trenin durma mesafesi genellikle 600 ila 1500 metre arasında olduğundan, erken tespit sistemleri kaza riskini ciddi oranda düşürmektedir [16].

Şekil 3’de, otomatik tren kontrol sistemlerinin nasıl entegre veri yönetimi sunduğu ve bu sistemlerin verimliliği nasıl artırdığı şematik olarak gösterilmektedir.



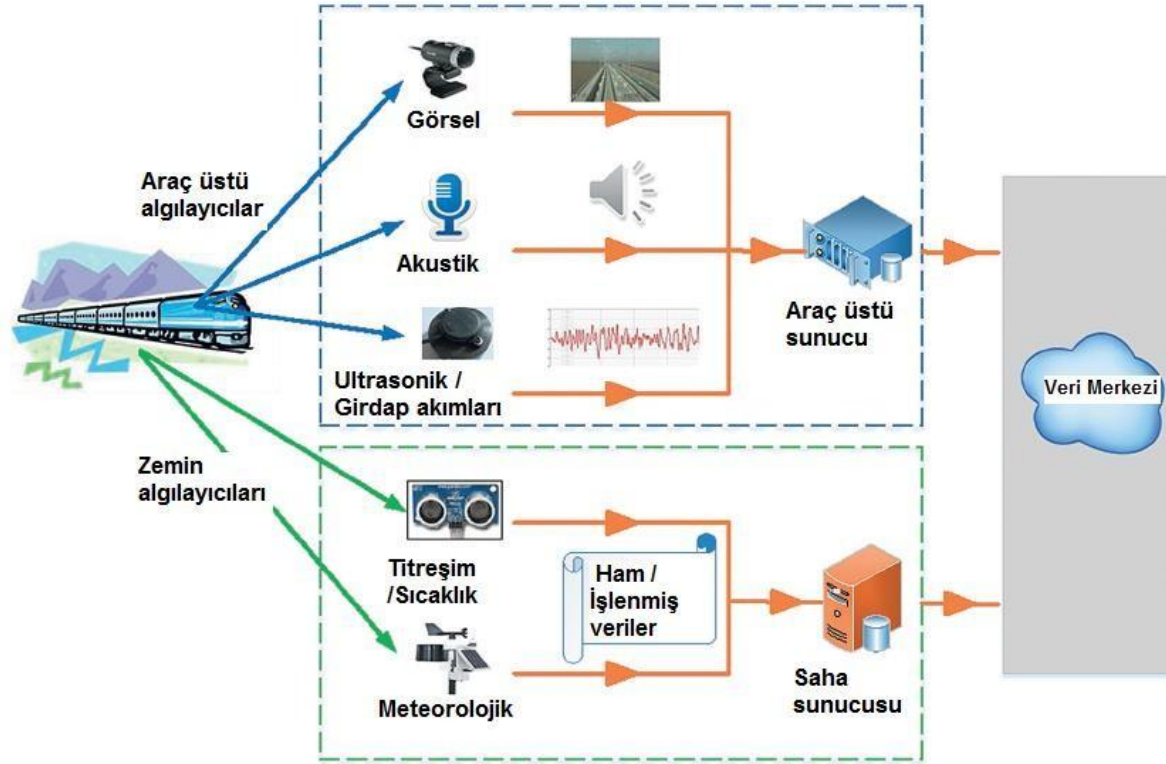
Şekil 3. Bütünleştirilmiş kontrol sistemi [17].

2.2.4. Kontrol sistemleri

Günümüz demiryolu sistemleri, teknolojik sistemler gereği karmaşık fiziksel yapılar olup, bu yapılar bilgisayar destekli algoritmalar aracılığıyla yönetilmektedir. Özellikle tren kontrol sistemleri, yalnızca kendi ekipmanlarından veri toplayan cihazlar olmaktan öte, trenler arasında bilgi akışını sağlayan ve anlık işletim verilerini kontrol merkezleriyle paylaşabilen, bütünleşik iletişim altyapılarına sahip sistemlerdir. Demiryolu güvenliği açısından en kritik unsurlardan biri olan ray muayenesi, güvenilir ve kesintisiz işletmecilik açısından büyük öneme sahiptir. Bu muayene süreci; ray yüzeyinde ve yüzey altındaki kusurların tespiti, ray geometrisinde

meydana gelen deformasyonların izlenmesi ve bağlantı elemanlarında oluşabilecek arızaların önceden belirlenmesini kapsamaktadır.

Söz konusu denetim sistemleri; ultrasonik muayene cihazları, girdap akımı temelli test ekipmanları, yüksek çözünürlüklü görsel inceleme sistemleri, akustik emisyon teknolojileri ile birlikte titreşim ve sıcaklık ölçüm sensörlerinden oluşan geniş bir teknoloji yelpazesine dayanmaktadır. Bu cihazlar hem tekil hem de koordineli biçimde çalışarak raylardaki potansiyel riskleri erkenden saptamayı mümkün kılar[7]. İlgili sistemlerin genel yapısı Şekil 4'te özetlenmektedir.

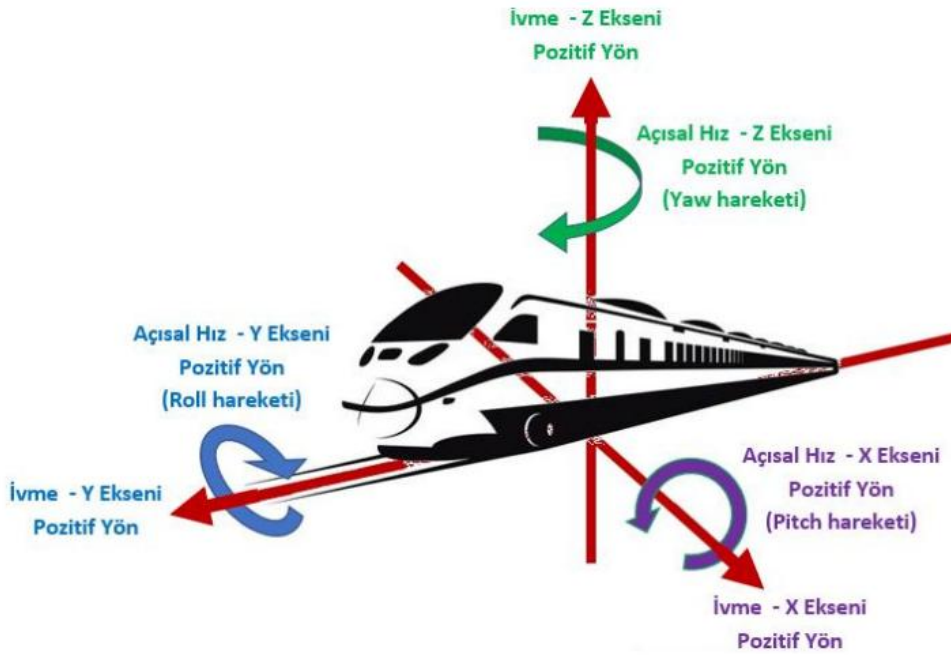


Şekil 4. AUS tabanlı ray ve hat sistemleri [7]

Bu sistemleri kapsayan test ve ölçüm treni Piri Reis, mevcut kullanılan işletmelerdeki hatlarda ve işletmeye alınacak hatların ölçümlerinde kullanılmaktadır. Uluslararası standartlara uygun olarak analizler yapan, yüksek çözünürlüklü kameralar gibi çeşitli sensörleri içeren ölçüm ekipmanları sistemini beraberinde bulunduran bu araç katener-pantograf etkileşimi, akselometrik titreşim ölçümü gibi 50'den fazla veri toplayabilir ve ölçümleri gerçekleştirebilir.



Şekil 5. TCDD YHT hatlarında test ve ölçüm yapan Piri Reis treni [9]



Şekil 6. Mobil cihazla ölçülen ivme ve açısal hız kayıtlarının hat güzergâhı ile ilişkisi[13]

Son yıllarda hızla gelişen akıllı ulaşım sistemleri sonucu farklı kaynaklardan pek çok veri toplanmakta ve bu veriler işlenerek özel analizler için kullanılmaktadır. Toplanan çok miktardaki veri, akıllı ulaşım sistemlerinin gelişmesine katkıda bulunmaktadır. Yapay zeka gelişimi ile daha kuvvetli, çok fonksiyonlu, kendi kendine öğrenen algoritmalar içeren ve gelişen, veriye dayalı sonuçlar çıkartan daha akıllı ulaşım sistemlerine dönüşmektedir. [16].

3. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Yeni bir bölgeye getirilen ulaşım sistemi, o bölgenin ekonomik ve sosyal kalkınmasında belirleyici bir rol oynamaktadır ve bölgeler arasında birlikteliği arttırmaktadır. Gelişen teknolojiyle birlikte daha az enerjiyle daha yüksek verimlilik sağlanması açısından raylı sistemler, birçok gelişmiş ülke tarafından öncelikli olarak tercih edilmektedir. Sektördeki

rekabet koşulları dikkate alındığında, raylı sistemlerin desteklenmesi uzun vadede istikrarlı ve sürdürülebilir ulaşım altyapılarının oluşmasına katkı sağlayacaktır.

Sinyalizasyon, makas sistemleri, sürücü kontrol birimleri veya haberleşme altyapılarında yaşanabilecek teknik aksaklıklar, tren çarpışmaları ya da raydan çıkma (deray) gibi ciddi güvenlik risklerine yol açabilmektedir. Benzer şekilde, tren teşkili ya da ikmal süreçlerinde ortaya çıkabilecek aksaklıklar, arıza oluşumuna zemin hazırlayarak seferlerin tamamlanamamasına neden olabilmektedir.

Kontrol ve konfor sistemlerinde yaşanabilecek olumsuzluklar ise hem yolcular hem de personel açısından bekleme sürelerinin uzaması ya da seyahat konforunun düşmesi gibi sorunlara yol açmakta; bu durum aynı zamanda işletme açısından maddi kayıplarla sonuçlanabilmektedir.

Bu bağlamda, özellikle sinyalizasyon sistemleri başta olmak üzere belirli kritik alanlara yönelik yapılacak detaylı analizler ve teknik iyileştirme çalışmaları, hem mevcut kazaların önlenmesine hem de gelecekte meydana gelebilecek olumsuz durumların minimize edilmesine katkı sağlayacaktır.

Uluslararası Demiryolu Birliği (UIC), saatte en az 250 kilometre hız yapabilen trenleri hızlı tren kategorisine dahil etmektedir. Türkiye'de bu teknoloji ilk kez 2009 yılında Ankara-Eskişehir hattında kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda artan altyapı yatırımları sayesinde yüksek hızlı tren teknolojileri yaygınlaşmış ve bu kapsamda çeşitli akıllı ulaşım sistemleri de kullanılmaya başlanmıştır. Her yıl yolculuk sayılarında da artış gösteren demiryolu sektörü, akıllı ulaşım sistemleri ile tam uyumlu çalışabilme kapasitesine sahiptir. Bu alanda çalışmalarımızı hızlandırıp, insan gücünü azaltmak ancak AUS sayesinde olabilir.

KAYNAKÇA

- [1] Ning, B.; Tang, T.; Gao, Z.; Yan, F.; Wang, F.Y.; Zeng, D. Intelligent Railway Systems in China, *IEEE Intelligent Systems*, 2006, 80-83.
- [2] Wang, X.; Zhang, F.; Li, B. ve Gao J. Developmental pattern and international cooperation on intelligent transport system in China, *Case Studies on Transport Policy*, **2017**, 5, 38–44.
- [3] Garambaki, A.H.S.; Thaduri, A.; Seneviratne, A.M.N.D.B. ve Kumar, U. Opportunistic inspection planning for Railway eMaintenance, *IFAC-PapersOnLine*, **2016**, 49-28, 197–202.
- [4] Catalano, A.; Bruno, F.A.; Galliano, C.; Pisco, M.; Persiano, G.V.; Cutolo, A.ve Cusano, A. An optical fiber intrusion detection system for railway security, *Sensors and Actuators A*, **2017**, 253, 91–100.
- [5] Ehlers, U.C.; Ryeng, E.O.; McCormack, E.; Khan, F. ve Ehlers, S. Assessing the safety effects of cooperative intelligent transport systems: A bowtie analysis approach, *Accident Analysis and Prevention*, **2017**, 99, 125–141.
- [6] Janušová, L. ve Čičmancová, S. Improving Safety of Transportation by Using Intelligent Transport Systems, *Procedia Engineering*, **2016**, 134, 14 – 22.
- [7] Li, Q.Y.; Zhong, Z.D.; Liu, M. ve Fang W.W. Smart Railway Based on the Internet of Things, *Big Data Analytics for Sensor-Network Collected Intelligence*, Chapter 14, 2017.
- [8] Peris, E. ve Goikoetxea, J. Roll2Rail: new dependable rolling stock for a more sustainable, intelligent and comfortable rail transport in Europe, *Transportation Research Procedia*, **2016**, 14, 567 – 574.
- [9] <http://www.tcdd.gov.tr/haberler/BAKAN%20YILDIRIM;%20ANKARA-KONYA%20YHT%20HATTININ%20TEST%C4%B0N%C4%B0%20-%C4%B0R%C4%B0%20RE%C4%B0S-%20YAPACAK/313>
- [10] Zhang, J.; Wang, F.Y.; Wang, K.; Lin, W.H.; Xu, X.; Chen, C. Data-Driven Intelligent Transportation Systems: A Survey, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, **2011**, 12, 4, 1624-1639.
- [11] C. Özarpa, İ. Avcı, ve B. F. Kınacı, “Akıllı Raylı Sistemlerde Kullanılan Alt Sistemlerin Kritik Seviye Analizi”, *Demiryolu Mühendisliği*, sy. 14, ss. 143–153, Temmuz 2021, doi: 10.47072/demiryolu.937278.
- [12] Sarıkavak, Y. (2018). Demiryolu endüstrisinde akıllı ulaştırma sistemleri ve Türkiye’deki uygulama örnekleri. *Akıllı Ulaşım Sistemleri Ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 22-32.
- [13] F. Çeçen, “Demiryollarında Ray Kırılmalarının, Ani Rijitlik Değişimlerinin ve Geometrik Süreksizliklerin Akıllı Telefonlarla, Seyir Hâlinde Ölçümler Alınarak, Sürekli

Takibi”, Demiryolu Mühendisliği, sy. 20, ss. 54–66, Temmuz 2024, doi: 10.47072/demiryolu.1464183.

[14] Brenna M., Foiadelli M., Longo M., Application of genetic algorithms for driverless subway train energy optimization, International Journal of Vehicular Technology, 1-14, 2016.

[15] [tp://www.railwayturkey.com/haberler/teknoloji/surucusuz-metro-rayli-sistemde-yeni-donem](http://www.railwayturkey.com/haberler/teknoloji/surucusuz-metro-rayli-sistemde-yeni-donem), 2017.

[16] Berglund E., Törnqvist J., Alakulju P., Uppsala Universitet, Driverless train, 1654-7616, 2017.

[17] https://indexive.com/uploads/papers/pap_indexive15944165032147483647.pdf (Erişim tarihi: 20.04.2025)

[18] <https://ec.europa.eu/inea/en/connecting-europe-facility/cef-transport/projects-bytransport-mode/ertms>

YÜKSEK HIZLI TRENLERİN TÜRKİYE ULAŞIM AĞI İÇİNDEKİ YERİ VE TERCİH SEBEPLERİ

İnşaat Mühendisi,AYKUT TOPÇU

Yıldız Teknik Üniversitesi, aykut.topcu @std.yildiz.edu.tr - 0009-0002-6239-7624

Arş. Gör. Dr,ONUR ŞAHİN

Yıldız Teknik Üniversitesi, sahino@yildiz.edu.tr- 0000-0002-4574-9272

ÖZET

Türkiye’de ulaşım altyapısının planlanmasında uzun yıllar boyunca demiryolu yatırımlarına yeterince önem verilmemiştir. Bu durum, ulaşım türleri arasındaki dağılımın dengesizleşmesine yol açmıştır. Ağırlıklı olarak karayolu temelli yapılan planlamalar, çevresel açıdan bazı olumsuzlukları beraberinde getirirken; havayolu taşımacılığı, her ne kadar hız avantajı sunsa da ulaşım ağı içinde her noktaya erişim sağlayamaması nedeniyle önemli bir dezavantaj oluşturmuştur. Tüm bu gelişmeler, ulaşım araçlarında yeni arayışları gündeme getirmiştir. Bu çerçevede güvenlik, hız ve konfor gibi nitelikleriyle öne çıkan yüksek hızlı trenler, Türkiye için alternatif bir ulaşım türü olarak dikkat çekmektedir. Ankara, İstanbul, Eskişehir ve Konya arasında hizmete giren hatların yanı sıra, yapımı süren ve gelecekte planlanan yeni hatlarla şehirler arası bağlantının daha hızlı, güvenli ve konforlu hâle getirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada yüksek hızlı trenlerin; güvenlik, konfor, seyahat süresi ve maliyet gibi yönlerden sunduğu katkılar ele alınmış; mevcut hatlardaki diğer ulaşım türleriyle, Türkiye'deki ve dünyadaki diğer raylı sistemlerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak yüksek hızlı trenlerin, birçok açıdan daha avantajlı bir ulaşım imkânı sunduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler : Yüksek hızlı tren, ulaştırma, ulaştırmada yolcu tercihleri, raylı sistemlerde konfor

1. GİRİŞ

Günümüzde zamanın değer kazanması ile ulaşım sektöründeki gelişmeler geçmiş yıllara göre fazlasıyla artmıştır. Gün içerisinde gideceğimiz yere tam ne zaman gideceğimizi bilmek, günümüzü buna göre planlamak oldukça önemlidir. Ulaştırmanın bölgelerin gelişimini artırma etkisi de oldukça yüksektir. Dört ana başlığa ayrılan ulaştırma türleri denizyolu, karayolu, havayolu ve denizyoludur.

Demiryolu, teknolojik gelişmelerin kolayca adapte edilebilmesi, çevreye etkisi, işletme maliyeti, arazi kullanımının karayoluna göre az olması gibi kriterlere bakıldığında diğer ulaştırma türleriyle rekabet etmektedir. Demiryolu, işletme maliyeti, çevreci etkileri ve arazi kullanım verimliliği konularında havayolu ulaştırmasından daha gelişmiş olduğunu kanıtlamıştır. Ulaştırma türleri arasındaki tercihler yıllara göre teknolojik gelişmeleri takip eder ve gelişir. Hız, güvenlik, konfor, seyahat süresi, maliyet ve çevrecilik gibi konularda daha üstün olan ulaşım türleri yolcular tarafından daha çok tercih edilmektedir. [1-2].

Osmanlı İmparatorluğu'nda 3.714 kilometresi ana hat, 845 kilometresi tali hat olmak üzere toplam 4.559 kilometre demiryolu hattı mevcuttu. 1. Beş Yıllık Sanayi Planı ve 2. Beş Yıllık Sanayileşme Planında, ulaştırmayı geliştirmeyi planlayan ve gelişen demir-çelik, kömür ve makine gibi temel sanayi alanlarının yoğun yüklerini en düşük maliyetle taşımak için bilinçli bir demiryolu politikası benimsemiştir [22]. Cumhuriyetin ilk yıllarından 1950'ye kadar demiryollarına büyük gelişmeler yaşanmış , ancak 1950-2009 yılları arasında bu hızlı gelişim yavaşlamıştır. Bu yıllar arasında karayolu, havayolu ve demiryolu ulaşımı arasında yüzde olarak kullanım farkı ortaya çıkmıştır. 2009 yılında yüksek hızlı trenlerin kullanılmasıyla birlikte demiryollarında yaşanan gelişme ivmesi yeniden artmaya başlamıştır [7-9]. Türkiye'de ulaşım tercihi 1950-2009 yılları arasında karayolu ağırlıklı olsa da, teknolojinin gelişmesiyle hayatımıza giren yüksek hızlı trenlerin hız, maliyet, güvenlik ve sürdürülebilirlik açısından diğer ulaştırma türlerine göre sağladığı üstünlük sayesinde demiryollarının diğer ulaştırma türleri içindeki kullanım yüzdesi payı giderek artmaktadır [4]. Yüksek hızlı trenler ile çoğunlukla yolcu taşımacılığı yapılmaktadır. [3] Yüksek hızlı trenlerin inşaat yatırım maliyeti yüksek olsa da, karayoluna göre daha hızlı ve güvenli, havayoluna göre ise daha ucuz ve daha düşük enerji tüketimi sunmaktadır ve böylelikle işletme maliyetleri daha uygundur.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tercihi etkileyen parametreleri karşılaştırırken Türkiye'de yüksek hızlı tren seyahatleri ile ilgili bilgilerin temin edilmesi karşılaştırma açısından önemlidir. Türkiye'de ilk yüksek hızlı tren 2009 yılında Ankara-Eskişehir arasında seferine başlamıştır. Yaklaşık 2 saat 40 dakikalık bir seyahat süresi ile yolcu taşımacılığı hizmeti sunulmuştur. İkinci yüksek hızlı tren hattı 2011'de Ankara-Konya, üçüncü yüksek hızlı tren hattı 2014'te Ankara-Pendik (İstanbul), Konya-Pendik, 2019 yılında ise Ankara-Halkalı (İstanbul) uzatması ve Konya-Halkalı hatları devreye girmiştir [10]. Ve son olarak 26 Nisan 2023'te ise Ankara – Sivas Yüksek Hızlı Demiryolu hizmete girmiştir ve seyahat süresi 2 saat 30 dakikadır.

2.1. Tercih Sebepleri

Tercihi etkileyen parametreleri karşılaştırırken Türkiye’de yüksek hızlı tren seyahatleri ile ilgili bilgilerin temin edilmesi karşılaştırma açısından önemlidir. Türkiye’de ilk yüksek hızlı tren 2009 yılında Ankara-Eskişehir arasında seferine başlamıştır. Yaklaşık 2 saat 40 dakikalık bir seyahat süresi ile yolcu taşımacılığı hizmeti sunulmuştur. İkinci yüksek hızlı tren hattı 2011’de Ankara-Konya, üçüncü yüksek hızlı tren hattı 2014’te Ankara-Pendik (İstanbul), Konya-Pendik, 2019 yılında ise Ankara-Halkalı (İstanbul) uzatması ve Konya-Halkalı hatları devreye girmiştir [10]. Ve son olarak 26 Nisan 2023’te ise Ankara – Sivas Yüksek Hızlı Demiryolu hizmete girmiştir ve seyahat süresi 2 saat 30 dakikadır.

Yüksek hızlı trenler, klasik demiryolu araçlarına kıyasla daha gelişmiş ve teknolojiye ayak uydurmaları sayesinde diğer ulaşım türleri ile kolaylıkla rekabet edebilmektedir. Yüksek hızlı trenler, değişken iklim koşullarından diğer ulaşım türlerine göre daha az etkilenir ve akıllı ulaşım sistemleri adaptasyonu kolay olduğundan teknolojik altyapıları ile birlikte konforlu, güvenli bir seyahat sağlar. arazi kullanımı diğer ulaşım türlerine göre az olması ile düşük işletme maliyetli yatırımlar için olanak sağlar [6]. Yüksek hız ve taşıma kapasitesi sayesinde kara yolu trafiğini azaltmak için de etkili bir alternatif sunmaktadır. Diğer ulaşım türlerine kıyasla seyahat süresi ve yakıt maliyetlerinde önemli avantajlar sağlamaktadır [8].

2.1.1. Hız ve konfor

Uzun mesafeli seyahatlerde yolcular son yıllarda yüksek hızlı trenleri daha çok tercih etmektedir. Özellikle karayolu taşımacılığı ile kıyaslandığında seyahat sürelerindeki fark dolayısıyla yüksek hızlı trenler, karayollarına kıyasla daha tercih edilebilirliklerini artırmıştır. Yüksek hızlı trenlerin ulaştığı son hızlarda çevreye yaydığı gürültü kirliliğini önlemek amacıyla, nüfus yoğunluğu yüksek bölgelerde, tünel ve köprülerde hız sınırlandırmaları yapılmaktadır. Ayrıca, hız arttıkça altyapı maliyetleri de doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle, yüksek hızlı tren hatları için sağlam, güvenli bir altyapı oluşturulması gereklidir [21]. Türkiye’de hizmet veren yüksek hızlı trenler, 250 km/sa hıza ulaşmakta ve gerekli yalıtım önlemleri sayesinde gürültü, ses yalıtımı sağlayarak konforlu bir yolculuk ve çevreye etkilerini azaltan bir hizmet sunmaktadır. Ayrıca, hava koşullarından etkilenmeyen yapıları sayesinde sürekli bir ulaşım hizmeti vermektedir [9]. Örnek olarak İstanbul-Ankara yüksek hızlı trenlerin şehir içerisinde daha yavaş, özel tünel bölgelerinde ise maksimum hızlarına çıktığı verilebilir.

2.1.2. Çevrecilik

Yüksek hızlı trenler %100 elektrikli sistemlerle çalışmakta olup, her gün gelişen teknolojiye ayak uydurarak yenilenebilir enerji kaynaklarıyla uyumlu bir şekilde çalışabilmektedir. Şehirlerarası ve uzun mesafeli taşımacılıkta, önemli ölçüde yenilenebilir enerji kullanan tek ulaşım türü olarak öne çıkmaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımıyla birlikte, CO₂ emisyonları da önemli ölçüde azalmaktadır. Elektrik enerjisi kullanımı sayesinde, diğer ulaşım türlerinin aksine, yüksek hızlı trenler ana yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanımı

kolayca sistemlere entegre edilebilir. Türkiye'de ulaşım kaynaklı çevresel zararları azaltmak amacıyla yeni politikalar geliştirilmiş ve tamamen elektrikle çalışan yüksek hızlı trenler bu kapsamda kullanılmaya başlanmıştır [17].

Günümüzün en önemli sorunlarından olan karbon salınımı açısından bakıldığında, yüksek hızlı trenler diğer ulaşım türlerine göre çok daha çevrecidir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması sayesinde karbon emisyonları sıfıra yakındır. Bu da yüksek hızlı trenlerin çevrecilik açısından diğer ulaştırma türlerine göre çok daha önde olmasını sağlamaktadır [6,9].

TÜİK'in seragazı emisyon envanteri verilerine göre, 2021 yılında, Türkiye'nin toplam seragazı emisyonu CO₂ eşdeğeri olarak 564,4 milyon tondur. 2020 yılında toplam seragazı emisyonunun 80.680 kiloton CO₂ eşdeğerini ulaştırma kaynaklı emisyonlar oluştururken, 2021 yılında bu miktar toplam emisyonların 91.200 kiloton CO₂ eşdeğerini oluşturmaktadır. 1990 yılında ulaştırma kaynaklı emisyonların toplam seragazı emisyonlarındaki payı ise 12,8% iken 2021 yılında bu rakam 16,2% olmuştur.

TÜİK'in 2021 yılı seragazı emisyon envanteri verilerine göre; ulaşırmadan kaynaklanan CO₂ emisyonunun 94,8%'i karayolundan, 3,1%'i havayolundan, 1,2%'si denizyolundan, 0,4%'ü demiryolundan ve 0,4%'ü ise diğer ulaştırma türlerinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1. Ulaştırma Türüne Göre Seragazı Emisyonu (kiloton CO₂ eşdeğeri) [29].

Yıllar	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2018	2019	2020	2021
Toplam	26.969	34.113	36.465	42.041	45.392	75.798	84.617	82.428	80.680	91.200
Havayolu	923	2.775	3.099	4.089	2.862	4.205	3.688	3.509	2.164	2.856
Karayolu	24.777	29.760	31.850	35.532	39.941	69.309	78.907	76.720	76.601	86.499
Demiryolu	721	768	713	757	517	480	435	400	323	356
Denizyolu	509	726	623	1.299	1.682	1.147	931	1.217	1.264	1.128
Diğer ulaştırma	39	83	180	364	390	656	657	581	328	361

2.1.3. Güvenlik

Yüksek hızlı trenler, hızlı ve güvenli taşımacılık hizmeti sunmak amacıyla özel olarak tasarlanmış ve üretilmiştir [16]. Bu araçların hedeflenen hızlara ulaşabilmesi için uygun altyapı çalışmaları ve özel tasarımlar gereklidir. Yüksek hızlarda kurplarda ve dur-kalk noktalarında güvenliği sağlamak için sinyalizasyon uygulamaları geliştirilmiştir. Yüksek hızlı trenlerin tercih edilmesindeki en büyük sebeplerden biri de güvenlidir. Diğer ulaşım türlerine kıyasla daha özel alana sahip olması nedeniyle daha düşük kaza oranlarına ve daha yüksek bir güvenlik standardına sahiptir [9,12]. Bu nedenle güvenlik faktörü de yüksek hızlı trenlerin tercih edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Yıllar - Years	KAZA TİPİLERİ Type Of Accident	ÖLÜ SAYISI Number of Fatalities				YARALI SAYISI Number of Injuries			
		Yolcu Passenger	Personel Railway employees	Diğer Şahıslar Other persons	Toplam Ölüm Sayısı Number of Total Fatalities	Yolcu Passenger	Personel Railway employees	Diğer Şahıslar Other persons	Toplam Yaralı Sayısı Number of Total Injuries
2019	Çarpışma - Collision	-	-	1	1	-	-	-	-
	Hemzemin geçit çarpışması - Collision at level crossing	-	-	24	24	-	-	18	18
	Deray - Derailment	-	2	-	2	-	-	-	-
	Diğer kazalar - Other accidents	-	1	-	1	-	1	2	3
	Demiryolu Kaza Toplamı - Total Railway Accident	-	3	25	28	-	1	20	21
	Trenden düşme - Falling from a train	1	-	-	1	1	-	5	6
	Trenin şahsa çarpması - Train hit a person	-	-	25	25	-	1	-	1
	Şahıs ve hareket halindeki tren kaynaklı - Individuals & Rolling stock in motion	1	-	25	26	1	1	5	7
	Toplam - Total	1	3	50	54	1	2	25	28
2020	Çarpışma - Collision	-	4	-	4	-	4	-	4
	Hemzemin geçit çarpışması - Collision at level crossing	-	-	16	16	-	-	8	8
	Deray - Derailment	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diğer kazalar - Other accidents	-	-	1	1	-	-	2	2
	Demiryolu Kaza Toplamı - Total Railway Accident	-	4	17	21	-	4	10	14
	Trenden düşme - Falling from a train	-	-	-	-	-	-	-	-
	Trenin şahsa çarpması - Train hit a person	-	-	11	11	-	1	2	3
	Şahıs ve hareket halindeki tren kaynaklı - Individuals & Rolling stock in motion	-	-	11	11	-	1	2	3
	Toplam - Total	-	4	28	32	-	5	12	17
2021	Çarpışma - Collision	-	-	3	3	-	-	-	-
	Hemzemin geçit çarpışması - Collision at level crossing	-	-	14	14	-	-	11	11
	Deray - Derailment	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diğer kazalar - Other accidents	-	-	-	-	-	1	-	1
	Demiryolu Kaza Toplamı - Total Railway Accident	-	-	17	17	-	1	11	12
	Trenden düşme - Falling from a train	-	-	-	-	2	-	-	2
	Trenin şahsa çarpması - Train hit a person	-	-	13	13	-	2	3	5
	Şahıs ve hareket halindeki tren kaynaklı - Individuals & Rolling stock in motion	-	-	13	13	2	2	3	7
	Toplam - Total	-	-	30	30	2	3	14	19
2022	Çarpışma - Collision	-	1	-	1	-	-	-	-
	Hemzemin geçit çarpışması - Collision at level crossing	-	-	15	15	-	-	9	9
	Deray - Derailment	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diğer kazalar - Other accidents	-	-	-	-	-	-	-	-
	Demiryolu Kaza Toplamı - Total Railway Accident	-	1	15	16	-	-	9	9
	Trenden düşme - Falling from a train	-	-	-	-	-	2	-	2
	Trenin şahsa çarpması - Train hit a person	1	1	13	15	-	2	8	10
	Şahıs ve hareket halindeki tren kaynaklı - Individuals & Rolling stock in motion	1	1	13	15	-	4	8	12
	Toplam - Total	1	2	28	31	-	4	17	21
2023	Çarpışma - Collision	-	-	-	-	-	-	-	-
	Hemzemin geçit çarpışması - Collision at level crossing	-	-	11	11	-	-	6	6
	Deray - Derailment	-	-	-	-	-	-	-	-
	Diğer kazalar - Other accidents	-	-	-	-	-	-	1	1
	Demiryolu Kaza Toplamı - Total Railway Accident	-	-	11	11	-	-	7	7
	Trenden düşme - Falling from a train	1	-	-	1	-	-	-	-
	Trenin şahsa çarpması - Train hit a person	2	1	12	15	-	1	8	9
	Şahıs ve hareket halindeki tren kaynaklı - Individuals & Rolling stock in motion	3	1	12	16	-	1	8	9
	Toplam - Total	3	1	23	27	-	1	15	16

Görsel 1. Türkiye’de demiryollarında 2019 – 2023 arasında yaşanan kaza sayısı ve ölüm miktarları [21].

2023 yılında demiryolları ve karayolları arasında kaza sayıları ve ölüm miktarları kıyaslandığında karayollarında 1.314.136 kaza olmuş ve yaralı sayısı 350.855, ölüm miktarı ise 6.548 kişidir. [21].

2.1.4. İşletme ve ilk yatırım maliyeti

Yüksek hızlı demiryolu hatları raylar, istasyonlar, enerji sistemleri, demiryolu araçları, sinyalizasyon sistemleri ve tünellerden oluşmaktadır [11]. Bu trenler, yüksek yolcu taşıma kapasitesine sahiptir. İlk yatırım maliyetleri yüksek olsa da, işletme maliyetleri düşük olduğundan ve fazla yolcu taşıdıkları için yakıt maliyetleri düşüktür ve enerji verimlilikleri oldukça yüksektir [6,13].

2.1.5. Süre

Yüksek hızlı demiryolları sundukları seyahat süresi avantajı ile havayolu ve karayolu taşımacılığına güçlü bir alternatif haline gelmiştir [10]. Seyahat süresi, yolcuların tercihini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Türkiye'de hizmet veren hatlar ile Ankara-Eskişehir arası yaklaşık 1 saat 30 dakika, Ankara-Konya hattı ortalama 1 saat 50 dakika, Ankara-Pendik arası 4 saat, Konya-Pendik arası 4 saat 20 dakika, Ankara-Halkalı hattı 5 saat 30 dakika ve Konya-Halkalı hattı ise 5 saat 40 dakika sürmektedir. Bu süre kıyaslamaları yapılırken sadece seyahat değil, o ulaşım türüne ulaşım süresi de görünmeyen etkilerden biridir.

2.1.6. İşletme planlaması ve erişilebilirlik

Demiryolları ulaşımının en güçlü yönlerinden biri dakiklıktır. Çok uzak mesafelere bile tam olarak saat kaçta gidileceği seyahat öncesi belirlenip paylaşılmaktadır. Yüksek hızlı tren hatları, geçtiği bölgelerde ulaşımı ve erişimi arttırdığı için ekonomik olarak iyileştirme potansiyeline sahiptir. Ana ulaşım koridorlarının dışında kalan bir alan, hızlı tren hatlarının varlığı ve ulaşımı kolaylaştırması ile önemli bir konum avantajı kazanabilmektedir. Bu durum, bölgesel kalkınmayı teşvik etmekte ve şehirlerin büyümesini desteklemektedir. Özellikle merkez şehirler ve bu şehirlerde bulunan tren istasyonları, çevresindeki yerleşim alanlarına kıyasla daha büyük bir gelişim göstermektedir [18].

Seyahat sürecinde varış ve kalkış saatleri ile dur-kalk noktaları akıllı ulaşım sistemleri geliştirilmesi sayesinde düzenli bir şekilde yönetilmekte, böylece olası gecikmeler önlenmektedir. Bu durum, yüksek hızlı trenleri dakik bir ulaşım seçeneği haline getirmiştir. Ayrıca, yüksek hızlı trenlerin geçtiği güzergâhlarda bulunan yerleşim yerlerinde ekonomik ve sosyal etkileşim artmış, şehirlerarası bağlantılar güçlenmiştir [12]. Terminallere ulaşım kolaylığı açısından da özellikle havayolu ulaşımına göre avantaj sağlayan tren istasyonları, havalimanlarına kıyasla şehir merkezlerine daha yakın konumlandırılmıştır. Bu da yüksek hızlı trenlere erişimi kolaylaştırarak yolcu memnuniyetini ve tercihleri artırmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Türkiye'de ulaşım türleri arasında taşınan yolcu ve yük miktarlarının yüzdelik payları 2022 yılı itibari ile Çizelge 2'de verilmiştir [26].

Çizelge 2.: Türkiye’de ulaştırma türleri arasında taşınan yolcu ve yük yüzdeleri (%) (2022)
[26].

Ulaştırma Türü	Yolcu Taşıma Payı %	Yük Taşıma Payı %
Karayolu	91,2	89,3
Demiryolu	1,5	4,5
Denizyolu	0,48	6,2
Havayolu	6,8	0,0

3.1. Karayolları ve Demiryolları Karşılaştırması

Uzun 1950-2009 yılları arasında bireysel araç sahipliğı artmasıyla birlikte karayolları yapımı ve kullanımı ile demiryolları yapımı ve kullanımı arasında fark çok artmıştır. Ne kadar yol yapılsa da araç sayısı da arttığından dolayı yollar yetersiz kalmış ve trafik sorunu ortaya çıkmıştır. Trafik sorununun ekonomiye, yerleşim yerlerine etkisi de oldukça fazladır.

Raylı sistemler ise, taşıma kapasitesi açısından tek seferde karayollarına göre çok daha fazla yolcu taşıyabilmektedir. Karayolu trafiğı nedeniyle oluşan yüksek enerji maliyetleri, çevreye zararı ve trafik kazalarından kaynaklı kayıplar göz önüne alındığında, demiryollarının sunduğı avantajlar sayesinde karayollarına karşı güçlü bir alternatif olduğı görülmektedir [18]. Aynı kapasitede yolcu taşıyabilmek için demiryollarında yaklaşık 14 metre genişliğinde bir platform yeterli olurken, karayollarında bu genişlik yaklaşık 38 metreye çıkmaktadır [14]. Ayrıca demiryolları, karayollarına göre daha düşük maliyetli ve çevreye daha az zarar vermektedir. Ancak karayolu ulaşımı her noktaya erişim ve sık sefer imkanları sunarken, enerjide dışa bağımlılık nedeniyle ekonomik açıdan dezavantajlar yaratmaktadır [9].

3.2. Havayolu ile Ulaşım

Havayolu ulaşımı, kısa seyahat süresi ve güvenli taşıma imkanı sunmaktadır. Ancak taşımada işletme maliyetleri yüksektir ve iklim koşullarına bağılı olarak sık sık rötalar veya iptaller yaşanmaktadır. Ayrıca, her bölgeye havayolu ulaşımı sağlanamamaktadır çünkü havalimanı yatırımları da yüksek maliyet gerektirmektedir. [17].

Yüksek hızlı trenler ile havayolları arasındaki rekabet, dünya genelinde sıkça kıyaslanmaktadır. Eğer demiryolu yolculuk süresi 2 saatten kısa ise, YHT tamamen piyasaya hakim olmakta ve havayolu şirketleri rekabetten çekilmektedir. Seyahat süresi 2-3,5 saat arasında olduğunda yine demiryolu baskındır. Ancak 3,5-5 saat aralığında havayolu ulaşımı daha iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Ancak bu konuda havalimanına ulaşım, uçuştan 1 saat önce havalimanında olma zorunluluğı gibi süreler göz önüne alındığında çok benzer süreler vermektedirler. Yolcuların seçim kriterleri bilet fiyatları, istasyon ve havaalanı konumları ve sefer sıklığı gibi unsurlardan da etkilenmektedir. yüksek hızlı trenler daha ekonomik bir seçenek sunmaktadır. [24]

3.3. Yüksek Hızlı Trenler ile Ulaşım

Türkiye'de yüksek hızlı tren hatlarında taşınan yolcu sayısı her yıl artış göstermektedir. 2019 a kadar düzenli artan yolcu sayıları, 2020 yılındaki salgın hastalık Corona etkisiyle 2.833 kişiye kadar düşmüştür. 2023 yılı için düzenli artışına devam eden YHT hatlarında 11.865 kişi yolculuk yapmıştır. YHT hatlarındaki artış aynı zamanda tüm demiryolu ulaşım araçlarında da görülmektedir.

Çizelge 3. Yüksek Hızlı Tren ve Diğer Demiryolu Ulaşımları Yolcu Sayıları (Bin kişi) [7]

(1.000)

TREN TİPİ	2019	2020	2021	2022	2023
YHT	8.274	2.833	4.376	9.364	11.865
KENT İÇİ	138.469	93.020	126.005	209.717	229.830
Marmaray	124.270	85.180	115.320	190.754	207.811
Başkentray	14.199	7.841	10.685	18.914	21.938
Halkalı-Bahçeşehir	-	-	-	49	80
KONVANSİYONEL	17.556	3.615	5.648	17.087	13.048
Anahat	3.684	823	1.014	4.326	3.063
Bölgesel	13.827	2.787	4.634	12.724	9.935
Uluslararası (*)	45	6	-	36	49
GENEL TOPLAM	164.299	99.469	136.029	236.167	254.743

Yüksek hızlı trenler, istasyonlara erişim kolaylığı, fiyat avantajı, konfor ve hız gibi faktörlerle fark yaratmaktadır.

3.4. Denizyolu ile Ulaşım

Denizyolu ulaşım araçlarında diğer ulaşım modlarındaki gelişmeler sonucunda, çevresel zararları azaltmaya yönelik alternatif yakıt kullanımı ve iyileştirme çalışmaları yapılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Denizyolu taşımacılığı, çevresel etkiler ve verimlilik açısından diğer ulaşım modlarının gerisinde kalınca, tercih edilme yüzdeleri gerilemektedir.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Türkiye’de yüksek hızlı trenler on altı yılı aşkın süredir faaliyet göstermektedir. YHT'ler kısa sürede diğer ulaşım türlerine güçlü alternatif olmuştur. Çevreye duyarlı yapıları, karayolu ve havayolu taşımacılığına kıyasla daha düşük gaz emisyon değerleri sunmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da bu sistemler için oldukça uygundur.

Karayolu taşımacılığında sık görülen kaza ve yaralanmalara karşılık, YHT'ler akıllı ulaşım sistemleri ile güvenli taşıma imkanı sunmaktadır. Yolcuların tercihini en çok etkileyen trafik sorunu da YHT hatlarında olmadığı için tercih edilme yüzdesi artmaktadır. İlk yatırım maliyetleri yüksek olsa da, işletme maliyetleri karayollarına göre daha ekonomiktir. Ayrıca

seyahat süresi ve erişilebilirlik açısından da havayollarına kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır.

Havayolu ve karayolu ulaşımı, iklim koşullarına bağlı olumsuzluklardan etkilenirken, yüksek hızlı trenler bu tür sorunlardan etkilenmeden düzenli bir hizmet sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] A. Erel, “Ulaştırma planlamasında talep-sunu ilişkileri,” 3. *Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1995, ss. 81-92.
- [2] A. Vassilios , “Railway,” *Management and Engineering*, c. 3, 2006.
- [3] İ. Pektaş, “Raylı ulaşım sistemleri sektör analizi,” *Anadolu Raylı Ulaşım Sistemleri Kümelenmesi*, ss. 12-17, 2017.
- [4] Z. Öztürk, “Yüksek hızlı demiryollarının gelişimi ve Türkiye’nin durumu,” 2. *Ulaşım ve Trafik Kongresi- Sergisi*, Ankara, Türkiye, 1990, ss. 309-317.
- [5] Başbakanlık Hazine Müsteşarlığı “Dünya’da ve Türkiye’de yüksek hızlı tren işletmeciliği raporu,” Türkiye, Rap. T.C.: 1-17, 2015.
- [6] M. İnan ve M. Demir, “Demiryolu ulaşımı ve Türkiye’de hızlı tren yatırımlarının etkileri: Eskişehir-Konya örneği,” *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, c. 1, ss. 99-120, 2017.
- [7] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) Taşımacılık, "2023 Faliyet Raporu,"
- [8] D. Albalade, G. Bel ve X. Fageda, “Competition and cooperation between high-speed rail and air transportation services in Europe,” *Journal of Transport Geography*, s. 42, ss. 166-174, 2015.
- [9] S. Murat ve L. Şahin, “Dünden Bugüne İstanbul’da Ulaşım,” İstanbul Ticaret Odası, Yayın 201-58, ss. 53-56, 2010.
- [10] G. Dalkılıç ve H. T. Yaman, “Evaluation of The pricing preferences and value of time for high speed rail users in the Turkey,” *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, c. 34, s. 1, ss. 255-273, 2019.
- [11] G. De Rus, I. Barron, J. Campos, P. Gagnepain, C. Nash, A. Ulled ve R. Vickerman, “Economic analysis of high speed rail in Europe,” *Fundacion BBVA*, ss. 36-38, 2009.
- [12] M. Garmendia, C. Ribalaygua ve J. M. Urena, “High speed rail: implication for cities,” *Cities*, c. 29, ss. 26-31, 2012.
- [13] A. Y. Gündüz, M. Kaya ve C. Aydemir, “ Kent içi ulaşımında kara yolu ulaşımına alternatif sistem: raylı ulaşım sistemi,” *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, c. 12, s. 1, ss. 134-151, 2011.
- [14] High speedrail, “Fast track to sustainable mobility” [Online]. Erişim: http://www1.mmo.org.tr/resimler/ekler/b7e926154c1274e_ek.pdf
- [15] R. Vickerman, “High speed rail in Europe: experience and issues for future development,” *The Annals of Regional Science*, c. 31, ss. 21-38, 1997.
- [16] International Union of Railways, [Online]. Erişim: <http://www.uic.org.tr/passenger/highspeed>

- [17] Y. Sürmen, *Taşıma İşletmeleri Muhasebesi*, 1. baskı, Kocaeli, Türkiye:Umuttepe Yayınları, 2015, ss, 672.
- [18] B. Baki, *Lojistik Yönetimi ve Lojistik Sektör Analizi*, Trabzon, Türkiye: Lega Kitabevi, 2004, ss. 46-54.
- [19] F. Yılmaz, "Yüksek hızlı trenlerin bölgesel kalkınmaya etkileri," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, 2019 .
- [20] TMMOB Makina Mühendisleri Odası, "Ulaşımda Demiryolu Gerçeği", Türkiye, Rap. TMMOB: 12, 2012.
- [21] TCDD Taşımacılık 2023 istatistikleri
- [22] 2014 Railway safety performance in the European Union, European Railway Agency, France, 2014.
- [23] C. Kurt, "Türkiye’de ulaştırma sektörü içerisinde lojistiğin yeri ve önemi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2010.
- [24] Bolakar Tosun, H. (2021). Türkiye’de Yüksek Hızlı Trenlerin Önemi ve Diğer Ulaşım Türleri Arasındaki Tercih Nedenleri. Duzce University Journal of Science and Technology, 9(3), 383-392. <https://doi.org/10.29130/dubited.873692>
- [25] <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turune-gore-seragazi-emisyonu-i-85790>
- [26] <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/ulastirma-turlerine-gore-tasinan-yolcu-ve-yuk-miktari-i-85789>

